

**Departamento de Construcciones Arquitectónicas II
Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación**

TESIS DOCTORAL

**Yeserías medievales de tradición islámica
del Real Alcázar de Sevilla: Revisión
historiográfica, metodología para la
caracterización, evaluación de su durabilidad y
elaboración de un inventario**

2011

Fco. Javier Blasco López

**YESERÍAS MEDIEVALES DE
TRADICIÓN ISLÁMICA DEL
REAL ALCÁZAR DE SEVILLA:
REVISIÓN HISTORIOGRÁFICA,
METODOLOGÍA PARA LA
CARACTERIZACIÓN,
EVALUACIÓN DE SU
DURABILIDAD Y
ELABORACIÓN DE UN
INVENTARIO**

**Autor
Fco. Javier Blasco López**

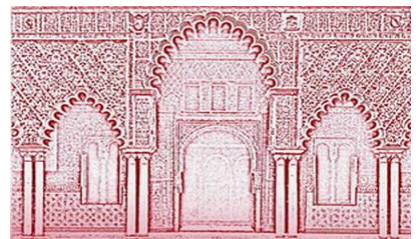
**Departamento de
Construcciones
Arquitectónicas II**

Directores

Fco. Javier Alejandro Sánchez
Doctor en Ciencias Químicas

Rosario Villegas Sánchez
Doctora Ingeniero Industrial

2011

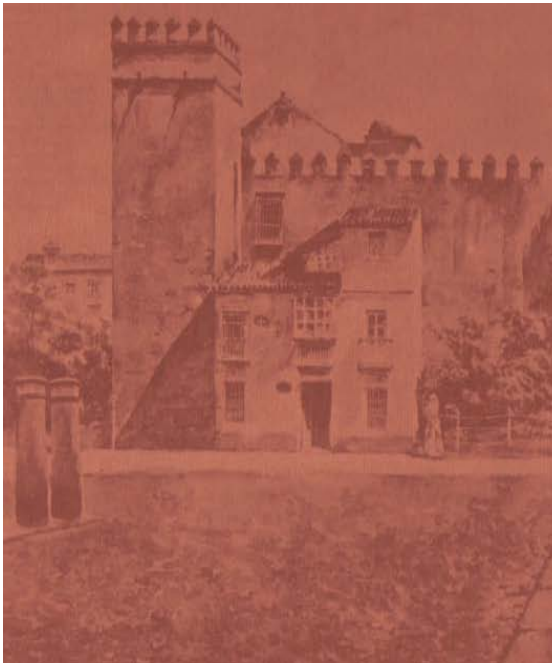


Índice

Agradecimientos.....	i
Resumen.....	ii
Summary.....	iv
1. Introducción.....	5
1.1.- Introducción al estudio y consideraciones previas.....	7
1.2.- Objetivos.....	12
1.3.- Estado actual de la investigación.....	17
1.4.- Enfoque Patrimonial.....	28
2. Antecedentes.....	31
2.1.- Antecedentes Históricos.....	31
2.1.1.- El Yeso Artesanal. Origen, usos y evolución.....	31
2.1.2.- Preparación y oficio del yeso artesanal. Aspectos históricos.....	37
2.2.- Antecedentes Técnicos y científicos.....	45
2.2.1.- El material de yeso, su fabricación, propiedades y variedades artesanales.....	45
2.2.2.- Historia y técnica de los yesos Artesanales islámicos en la Península Ibérica.....	75
2.2.3.- El Alcázar: Historia e intervenciones sobre las zonas de estudio.....	82
2.3.- Antecedentes Arquitectónicos de las Yeserías del Alcázar.....	96
2.3.1.- Arquitectura y Yesería Almohade referida a las zonas de estudio.....	96
2.3.2.- Arquitectura y Yesería Mudéjar referida a las zonas de estudio.....	98
2.4.- Otras aportaciones documentales.....	109
3. Metodología para la caracterización de las Yeserías.....	114
3.1.- Definición del problema científico.....	114
3.2.- Objetivos y actuaciones realizadas.....	116
3.3.- Toma de muestras.....	116
3.3.1.- Relación de muestras.....	120
3.3.2.- Situación y descripción.....	121
3.4.- Metodología para la Caracterización de masas y capas.....	123

3.4.1.- Análisis Químico elemental mediante FRX.....	125
3.4.2.- Determinación de contenido en Carbonatos.....	126
3.4.3.- Residuo insoluble en agua.....	127
3.4.4.- Análisis Mineralógico.....	127
3.4.5.- Análisis de componentes orgánicos.....	128
3.4.6.- Microscopía electrónica de barrido (SEM).....	130
3.4.7.- Determinación de Propiedades Físicas. Densidad Real, aparente y porosidad accesible al agua.....	131
3.4.8.- Porosimetría de mercurio.....	132
3.4.9.- Dureza Superficial.....	133
3.4.10.- Datación temporal de la muestra YPS.....	134
3.4.11.- Análisis de capas. Microscopía Óptica.....	136
3.4.12.- Análisis de capas. Análisis Mineralógico.....	137
3.4.13.- Análisis de capas. SEM (Scanning electron microscopy) y Microfluorescencia de Rayos.....	137
3.5.- Resultados y discusión.....	140
3.5.1.- Análisis Químico elemental mediante FRX.....	140
3.5.2.- Determinación de contenido en Carbonatos.....	143
3.5.3.- Residuo insoluble en agua.....	144
3.5.4.- Análisis Mineralógico.....	147
3.5.5.- Análisis de componentes orgánicos.....	151
3.5.6.- Microscopía electrónica de barrido (SEM).....	154
3.5.7.- Determinación de Propiedades Físicas. Densidad Real, aparente y porosidad accesible al agua.....	159
3.5.8.- Porosimetría de mercurio.....	166
3.5.9.- Dureza Superficial.....	170
3.5.10.- Datación temporal de la muestra YPS.....	174
3.5.11.- Análisis de capas. Microscopía Óptica.....	175
3.5.12.- Análisis de capas. Análisis Mineralógico.....	180
3.5.13.- Análisis de capas. SEM (Scanning electron microscopy) y Microfluorescencia de Rayos X.....	184
3.6.- Conclusiones parciales de caracterización.....	195
4.- Propuesta de metodología para el Estudio de la Durabilidad.....	201
4.1.- Definición del problema científico.....	201

4.2.- Objetivos y actuaciones.....	204
4.3.- Selección previa de materiales.....	204
4.4.- Estudio de Durabilidad.....	214
4.4.1.- Preparación de las probetas a ensayar.....	214
4.4.2.- Propiedades de las probetas.....	218
4.5.- Ensayos de alteración acelerada.....	221
4.5.1.- Absorción de agua por capilaridad.....	222
4.5.2.- Absorción de agua por inmersión.....	223
4.6.- Resultados y discusión.....	226
4.6.1.- Porosidad.....	226
4.6.2.- Resistencia a flexión.....	229
4.6.3.- Resistencia a compresión.....	230
4.6.4.- Dureza superficial.....	232
4.6.5.- Permeabilidad.....	236
4.6.6.- Velocidad de ultrasonidos.....	242
4.7.- Conclusiones parciales de durabilidad.....	247
5.- Conclusiones Generales y nuevas líneas de investigación.....	249
6.- Bibliografía.....	252
6.1.- Bibliografía General.....	252
6.2.- Bibliografía Específica.....	253
6.3.- Bibliografía Complementaria.....	259
Índice de Figuras.....	263



1. INTRODUCCIÓN

- 1.1.- Introducción al estudio y consideraciones previas
- 1.2.- Objetivos
- 1.3.- Estado actual de la investigación
- 1.4.- Enfoque Patrimonial

I. INTRODUCCIÓN

José Gestoso y Pérez en su libro “Curiosidades antiguas sevillanas”, se refiere a la casa sevillana de los siglos XIV, XV y XVI de la siguiente forma:

“Franqueadas las siempre pequeñas puertas de ingreso, que más bien llamaríamos postigos y el zaguán...., penetramos en el patio, de galerías altas y bajas con arcos inscritos en sendos arrabaes¹, bien de ojiva tumida² o de medio punto peraltados, ora sobre pilares de ladrillo agramilado o de planta hexagonal u octogonal ora sobre fustes de mármoles de distintos diámetros, y a veces, hasta de desigual altura; diferencia que se salvaba enterrando los fustes hasta dejarlos al nivel del piso, pues, importaba poco a los constructores que tuviesen o no basas, así como que los capiteles correspondiesen a un mismo orden o estilo, porque aprovechaban todo material sin el menor escrúpulo. Precisamente, en un monumento de la importancia de nuestro Alcázar, hallamos numerosos ejemplos de estas libertades constructivas. Siguiendo el gusto sarraceno debió ser frecuente festonear los arcos con adornos lobulados o angrelados de yeso o estuco así como los intradoses y enjutas, todo ello labrado a lo musayco³ en finas yeserías. Las maderas de las techumbres de las galerías, serían de parihuelos apoyados en un friso o arrocabe pintado, según el lujo de los dueños y con dorados racimos estalactíticos en los ángulos de los corredores. Ancho friso, también de yesería, con bellas combinaciones geométricas, limitados en sus partes superior e inferior con inscripciones africanas o cúficas, rodearían las galerías por bajo del arrocabe y análogo decorado serviría de marco o arraba a los vanos de las puertas y a los de las ventanas o a los ajimeces que daban luz a las tarbeas o salas, las cuales, cuando tenían ciertas dimensiones, llamábanlas palacios”.

Así imagina Gestoso, lo que serían las buenas casas del siglo XIV, refiriéndose de la misma forma al Alcázar, hasta finales del siglo XV, época en la que su aspecto exterior varió por completo, por la dominante influencia del Renacimiento italiano.

Pero los sevillanos, no olvidaron en este período las antiguas tradiciones arraigadas durante siglos, sostenidas por artífices mudéjares que aún vivían en Sevilla, descendientes de aquellos “tornadizos”, que encubrían su nombre sarraceno bajo apellidos cristianos, pero no sus obras, ya que delataban su origen musulmánico. Obras que

¹ Alfiz, pl. arrabaes

² Curva tumida. Curva ojival que tiene los centros de los arcos por encima de la línea de arranque. Es la versión del arco de herradura en el estilo gótico

³ Que así llamaban a lo morisco

los Arquitectos⁴ aceptaban sin escrúpulo, a la vez que las nuevas enseñanzas, de lo cual resultó un estilo tan artístico como original, el único verdaderamente genuino de Andalucía, que bien puede ser llamado “mudéjar plateresco” del cual poseemos magníficos ejemplares en las Casas-palacios sevillanas (Fig. 1), que acreditan la fusión de elementos decorativos platerescos con los moriscos y ojivales.

También se desplegaron en las viviendas, en las edificaciones religiosas, así como en la mayor parte de los salones de la planta alta de nuestro Alcázar, edificados en los primeros tiempos del Emperador, ofreciéndonos techumbres de traza sarracena con decoración plateresca como los frisos de yesería que corren alrededor de los muros.



Figura1. Arco de entrada a la capilla de la Casa de Pilatos, decorado con yeserías de motivos mudéjares y platerescos

⁴ Entonces maestros mayores de albañilería o de cantería

1.1.- Introducción al estudio y consideraciones previas

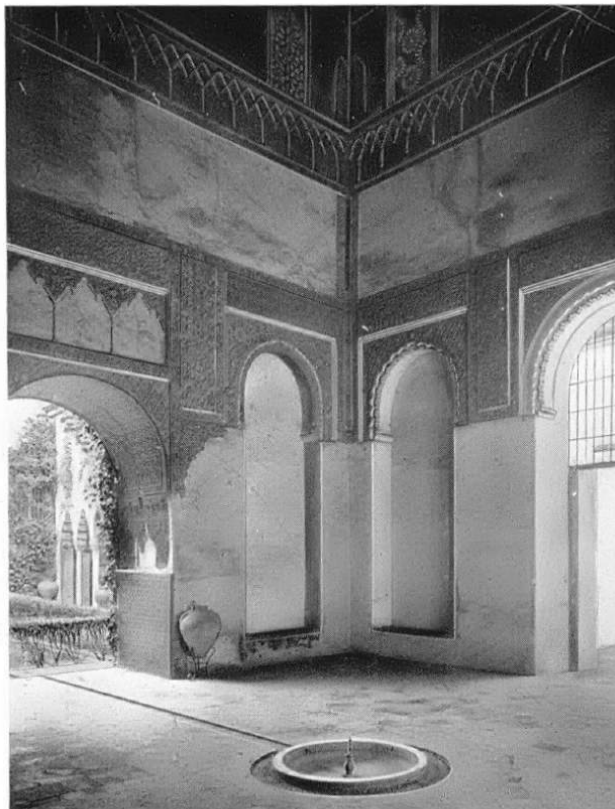


Figura 2. Imagen de la Sala de la Justicia tomada en 1930

Una gran parte de la cultura española, aunque considerada occidentalista, no puede desprenderse de una serie de rasgos singulares y únicos, fruto de su pasado histórico.

Andalucía, desde la colonización neolítica, ha ido creando una cultura indígena, estimulada por las diversas corrientes artísticas acaecidas a lo largo de los tiempos, entre las cuales es de destacar, la derivada de la presencia musulmana en nuestro suelo a lo largo de nueve siglos⁵, que dejó su huella en el arte, la literatura o la lengua, hasta la reconquista cristiana, que supuso el final de un sentir artístico y autóctono europeo, que tan solo el mudéjar pudo alargar unos siglos más.

Así, el yeso, junto con el ladrillo, como dos de los materiales característicos de este período, dan el tono local de la arquitectura andaluza (Guerrero, 1955).

⁵ Desde la invasión árabo-beréber del 711 hasta la expulsión de los moriscos en 1609

Cuando se estudia la historia de la arquitectura, vemos que el yeso está siempre presente en las distintas soluciones habitacionales de la humanidad, sobre todo en las regiones con abundancia geológica de este material.

Los morteros de yeso, constituidos por yeso y cal se usaban tanto al exterior como al interior, permitiendo todo tipo de revestimientos, decoraciones murales, jambas, molduras, esculturas, pinturas, etc., siendo hoy día un material imprescindible en la edificación (Diez, 2004).

Además el yeso, es un material muy abundante en la naturaleza y fácil de transformar, lo que lo convierte en uno de los primeros materiales utilizados por el hombre en la construcción de edificios y con diversas aplicaciones. Así, desde la época romana, se conoce la técnica del estucado⁶ para la realización de soportes de frescos y para el ennoblecimiento de las fachadas con acabado resistente.

El yeso, tiene su origen en Oriente, coincidiendo en este material, su aparente fragilidad y pobreza externa, con sus grandes posibilidades decorativas. La técnica de este material fue importada de Mesopotamia, siendo los artesanos musulmanes maestros en el uso del mismo como decoración⁷, aplicándolos en los paramentos de mezquitas y palacios: En forma de pastas, morteros de yeso o morteros constituidos por yeso y cal se usaba, tanto al exterior como al interior, permitiéndoles obtener de esta forma diversos tipos de revestimientos y decoraciones, componiendo unidades bien distribuidas en paneles.

Las yeserías, se aplicarían como ornamento que tiende a cubrir grandes superficies, para ocultar el adobe o ladrillo, en series ilimitadas de motivos repetitivos, pero con un significado dependiente del monumento al que se aplica, “el arte islámico ante la limitación que suponía el prescindir de los motivos figurativos que tienen un significado iconográfico propio, se volcó en la creación de formas, cuya presencia no afectase al significado del monumento” (Grabar [1925], 1981).

Las yeserías, son elementos decorativos característicos del arte musulmán aplicados en muros, arcos y bóvedas, siendo los alarifes musulmanes los primeros maestros en su uso y técnica a lo largo de más de nueve siglos, durante los que se han desarrollado tipologías de diversos estilos artísticos (taifa, almohade, nazarí, mudéjar, etc.).

⁶ Los normales o más corrientes, de yeso fino y cal

⁷ “Tales formas son las vegetales, las geométricas y las epigráficas, estas últimas ornamentales también” (Grabar 1984)

Las primeras yeserías de la España islámica se fechan en la ampliación de la Mezquita Mayor de Córdoba por al-Hakam II, manteniéndose posteriormente en los edificios almohades, mudéjares o nazaríes y en sus contemporáneos orientales. Destacan por su belleza y la calidad de sus ejecuciones en edificios civiles, como el Real Alcázar de Sevilla y el conjunto monumental de la Alhambra de Granada, entre otros. Las yeserías de tradición islámica están formadas básicamente por mezclas de yeso y colas de origen animal, u otros aditivos orgánicos, que retrasan el fraguado, aumentando la plasticidad y moldeabilidad del estado fresco, mejorando la adherencia, dureza y resistencia a agentes externos. Posteriormente, durante los siglos XIII al XV, se distinguen focos de gran interés, tanto en el reino musulmán nazarí de Granada como en la zona cristiana de Aragón, Toledo y Sevilla (Villanueva, 1996).

La tradición medieval de las yeserías continuó durante la primera mitad del siglo XVI, con motivos decorativos de otros estilos.

Se afirma que en España el uso del yeso en la arquitectura comienza con la dominación islámica (Almagro, 1958), no obstante, se han encontrado restos de decoraciones romanas realizadas con este material⁸, a base de geométricos (circunferencias tangentes o enlazadas), polígonos y esvásticas. La técnica utilizada consistía en enlucir previamente el paramento con una mezcla de yeso y cal y una vez dibujados los motivos sobre la pared seca, se tallaban en varios planos y se modelaban.

Torres Balbás (1955), no descarta una posible relación de las yeserías españolas islámicas con respecto a las de época romana, lo que no es de extrañar, ya que si se afirma que los orígenes de las yeserías islámicas hay que buscarlos en el arte sasánida, no es menos cierto que éste a su vez pudo ser influido por corrientes del arte helenístico y romano.

En la arquitectura Omeya el uso del yeso en la decoración fue una importación sasánida a partir de su incorporación al Islam⁹, por lo que con el califato Abbasí, el uso de éste gozaba ya de una tradición secular, aunque diferían en el dibujo y en la técnica de los omeyas y sasánidas¹⁰, realizándose la talla con cincel sobre superficies ligeramente curvas.

⁸ En Villajoyosa (Alicante) y en la Cocosa (Badajoz), siglo III, (González 1998)

⁹ Se puede citar su empleo en los alcázares omeyas de Siria y en Amman (Almagro y Arce 1996), donde aparece un sistema de piezas prefabricadas de yeso para la construcción de arcos

¹⁰ En éstos, la talla se realizaba a bisel

Tras la conquista de Sevilla por Fernando III en 1248, los musulmanes que se quedan se convierten en un grupo residual que ejercen como tejedores, herreros o albañiles, son los alarifes que edificaran las iglesias alfonsíes y el Palacio de Pedro I dentro del Alcázar almohade, la mayor obra arquitectónica del Trescientos sevillano.

Un importante factor a considerar son las numerosas intervenciones y restauraciones que las yeserías almohades, mudéjares y nazaríes han podido sufrir a lo largo de su historia. El yeso, su componente en esencia, se ha considerado muchas veces como un material pobre debido a su fragilidad y poca resistencia mecánica y estructural, ya que se trata de un material relativamente blando y de fácil degradación ante los elementos atmosféricos. Debido a esto, los paramentos de yeserías habrían requerido un continuo trabajo de mantenimiento desde el mismo momento de su creación (López, Burgio y Clark 2005).

El Alcázar de Sevilla, declarado patrimonio de la humanidad por la Unesco desde 1984, responde a un modelo oriental de ciudadela palatina, formado por un conjunto de edificaciones de distintos estilos y épocas, con funciones muy diversas, que se han ido incorporando y/o restaurando a lo largo del tiempo, rodeadas por una muralla que la protege (Fig. 3 y 4), a la vez que la aísla de la ciudad, donde se han ido realizando yeserías artísticas de varios de los diversos períodos estilísticos mencionados, que lo hacen único en su género.



Figuras 3 y 4. Murallas del Alcázar

Estas intervenciones, tanto musulmanas como cristianas, antiguas y modernas, tanto en éste como en otros edificios restaurados, han llevado, en algunos casos, a la coexistencia de piezas originales y repuestas en los mismos paños, creándose un desajuste, a la vez que desatándose algunas controversias cronológicas y estilísticas entre investigadores,

historiadores, arqueólogos y restauradores¹¹, en forma de falsas atribuciones, magnitud de conservaciones o restauraciones, y/o cronologías entre otras cuestiones.

Es evidente por tanto, que el yeso es un material con bastante presencia en muchas creaciones artísticas de nuestro patrimonio cultural. Sin embargo, a pesar de ello, cuenta con pocos estudios que profundicen en su comportamiento, manipulación, puesta en obra y ejecución. Así pues, el presente trabajo se centra en el yeso artesanal, fabricado en hornos tradicionales y empleado históricamente en la realización de yeserías tanto en Salas interiores como en Patios exteriores del Real Alcázar de Sevilla, pero considerando su estudio desde un punto de vista del material.

Esta investigación es eminentemente científica y experimental, pero tratando de aunarla o complementarla con la historiográfica, sobre todo para que nos permita conocer dentro de lo posible, la historia y las intervenciones sobre las yeserías llevadas a cabo en el Palacio.

¹¹ Navarro y Jiménez La Yesería en época Almohade CSIC, Madrid 2005, de su relación con el estilo almorávide que lo precedió y su influencia sobre el nazarí-meriní que le sucedió y de si fue diferente o no el arte almohade andalusí del magrebí, etc.

1.2.- Objetivos

Existen estudios realizados sobre yeserías, pero casi siempre desde un punto de vista histórico, arqueológico o tipológico, siendo escasos los que con carácter científico-técnico tratan problemas relacionados con su caracterización o su conservación.

En el campo concreto de las yeserías artísticas de estilo musulmán son muy exiguos, estando la mayoría de estos estudios relacionados con otros como pudieran ser: las pinturas murales, generalmente sobre un estuco de yeso o de cal y yeso, o morteros de yeso de construcción, tratándose en general de materiales y técnicas distintas a las que suelen conformar las yeserías hispanomusulmanas.

En el ámbito nacional, los encuentros o reuniones específicas sobre yeserías y estucos ha puesto de manifiesto la escasa publicación de trabajos referentes a este material. Esta falta de conocimientos en el campo del estado de la conservación de las yeserías hispanomusulmanas, así como en el campo de la caracterización del material compositivo de las yeserías hispanomusulmanas, sus posibles modos de conservación preventiva, sumado a la problemática tipológica, estilística, y cronológica, hace que se considere necesario plantear este trabajo, con el objeto de tratar de completar informaciones existentes o explicar el máximo número de incógnitas, a través del estudio del material, información que estimamos de gran importancia para posteriores investigaciones al respecto.

El material de yeso en elementos decorativos (yeserías), como se ha comentado, se ha usado muy frecuentemente en la arquitectura hispanomusulmana, en monumentos tan significativos como el Real Alcázar de Sevilla, la Mezquita de Córdoba o la Alhambra de Granada. Las técnicas de elaboración pueden variar dependiendo de la época, por lo que sus características compositivas y estructurales pueden cambiar igualmente. Por ello su conocimiento puede ayudar a deducir la cronología aproximada de los materiales, relacionándolas con la información documental histórica, es decir, obtener algunas conclusiones de tipo arqueométrico, estableciendo una correlación entre las características del material y la época en que se produjo.

Además, estas diferencias se pueden manifestar también por un comportamiento distinto frente a los agentes ambientales, presentando estados de conservación característicos de cada etapa constructiva.

El conocimiento de todos estos factores, tanto intrínsecos como extrínsecos, puede permitir proponer recomendaciones de mantenimiento y conservación de las yaserías.

La conveniencia de llevar a cabo la investigación radica en:

1. La importancia del Real Alcázar como conjunto histórico y arquitectónico, con diversas etapas constructivas, así como una multitud de intervenciones de reposición y mantenimiento, campo en el que este trabajo podrá ayudar a identificar desde el punto de vista material, las técnicas y época de ejecución estudiadas documentalmente.
2. La variedad de monumentos con yaserías decorativas, en los que se podría aplicar la metodología desarrollada en este estudio y que podrán estudiarse de forma comparativa.
3. El interés y beneficio de los resultados previstos para las administraciones públicas responsables de la conservación del patrimonio, conservación que parte siempre del conocimiento de la materialidad del mismo, de su comportamiento en el tiempo y de su estado, entre otras cuestiones, permitiendo establecer planes de mantenimiento diferenciados para las distintas yaserías monumentales

Los objetivos que se persiguen son:

1. Realizar un estudio historiográfico de las diversas yaserías sevillanas de tradición islámica reflejadas en el Real Alcázar, así como de las intervenciones llevadas a cabo en ellas.
2. Caracterizar las yaserías de tradición islámica más representativas desde el punto de vista de su composición y, propiedades físicas y mecánicas, sobre una aproximación cronológica previa. Se propone en base a los anteriores resultados una posible técnica de ejecución, a la vez que se trata de resolver algunos problemas cronológicos, de tipificación material, de relación o adscripción, de coetaneidad o influencias de estilos artísticos, de la calidad de las pastas o morteros, o incluso en algún caso se podría determinar, el grado y amplitud de algunas reposiciones, restauraciones o intervenciones llevadas a cabo en los diversos paños analizados.

3. Realizar un estudio de la durabilidad de las yeserías, mediante la preparación de probetas o muestras representativas lo más parecidas posible a las yeserías originales, a partir de materiales comerciales existentes, caracterizándolas y en base a sus propiedades, para realizar posteriormente un estudio de su comportamiento frente a los factores de deterioro, sometiéndolos a ensayos de alteración acelerada, teniendo en cuenta la existencia o no de protecciones o acabados aplicados en las mismas.
4. Elaborar un inventario de todas las yeserías analizadas, incluyendo los resultados obtenidos, así como una información gráfica y fotográfica, que permita mediante la comparación establecer las relaciones existentes entre ellas, pudiendo de esta manera adscribir las en función a diversos criterios.

Ante la ingente variedad de elementos decorativos realizados en este material a lo largo de la cultura hispanomusulmana, se ha extendido ésta selección de muestras, principalmente, a paños de paramentos o arcos de portadas en patios, salas y galerías más representativos del propio monumento, además de a otras obtenidas de fondos arqueológicos¹², fruto de trabajos de investigación realizados durante diversas excavaciones, que puedan servir de patrones de identidad, adscripción o contemporaneidad.



Figura 5. Excavación
arqueológica en el patio de la
Montería del Real Alcázar

¹² Nos serviremos de una muestra, de las muchas, halladas durante las excavaciones dirigidas por D. Miguel Ángel Tabales en el Patio de la Montería del Alcázar, en un nivel almohade (Tabales 2000), y de otra cedida amablemente por El Museo Arqueológico de Sevilla, hallada en rellenos de colmatación y subida de cota entre la quibla y la muralla islámica de la Aljama de Isbiliya, bajo el Patio de los Limoneros, correspondiente también a un período almohade (Huarte 2001)

Todas las muestras obtenidas del monumento y objeto de la investigación, incluso la obtenida del fondo arqueológico del patio de la Montería (Tabales, 2000) (Fig. 5), corresponden únicamente y en principio, a los períodos almohade y mudéjar. La muestra cedida por el Museo Arqueológico de Sevilla, correspondiente al patio de Limones de la Catedral de Sevilla, es de producción almohade (Huarte, 2001).

También nos serviremos de la caracterización de tres muestras obtenidas de varias decoraciones murales halladas en el convento de Santa Clara de Sevilla (Fig. 6), adscritas, dos de ellas al período almohade (siglo XII-XIII, 1250 aprox.) y otra a un período mudéjar posterior (siglo XVI aprox.), realizadas por el grupo de investigación al que pertenezco desde su creación (TEP 198), tras la intervención arqueológica llevada a cabo (Tabales, 2006), cabe señalar que en este recinto del barrio de San Lorenzo se ha corroborado la existencia de edificaciones islámicas (finales del siglo XII-primer mitad del siglo XIII), previas a la construcción del palacio mudéjar de Don Fadrique¹³ (segunda mitad del siglo XIII), en la que se mezclan los elementos islámicos mayoritarios, con los góticos y mudéjares¹⁴.



YSC1



YSC2

¹³ Hasta ahora solo se conocía la torre que lleva su nombre

¹⁴ Se trata de un ejemplar excepcional al ser el único caso conocido en Sevilla en el que en fechas tan cercanas a la conquista cristiana se levanta de nueva planta un edificio palatino islamizante. Los tres edificios de esa época conocidos en Sevilla (Palacio Gótico del Alcázar, Torre de D. Fadrique y las Atarazanas, son plenamente góticos, no habiéndose observado una reacción mudéjar en iglesias y palacios hasta el siglo XIV (Oliva, P.; Jiménez, A. y Tabales, M.A., 2003)



YSC3

Figura 6. Yeserías halladas en el Monasterio de Santa Clara

1.3.- Estado actual de la investigación

El Alcázar ha sufrido numerosas intervenciones, transformaciones y nuevas realizaciones a lo largo de su existencia (que han incluido muchas de las decoraciones islámicas), actuaciones que han sido documentadas e investigadas por diversos autores. Con el tiempo, aportaciones arqueológicas más recientes¹⁵ han permitido desechar viejas hipótesis estilísticas y plantear nuevas cuestiones¹⁶, desatando algunas controversias y creando ciertas indefiniciones puntuales.

Hay unanimidad entre los investigadores sobre la originalidad del estilo decorativo almohade conservado en diversos edificios y en la convicción de que la austeridad que lo caracteriza fue impulsada desde el poder. Sin embargo hay discrepancias sobre su formación, su relación con el estilo almorávide que lo precedió y su influencia sobre el nazarí-meriní que le sucedió.

Para Terrasse¹⁷, la nueva técnica no supuso pobreza ni estancamiento y fueron los mismos artesanos andalusíes de las obras almorávides quienes lo forjaron, buscando el equilibrio y armonía de las composiciones. Para Torres Balbás (1955), es un artificio creado a partir de la supresión y simplificación de elementos anteriores, señalando la existencia de dos corrientes o “mundos artísticos antagónicos”¹⁸. Aunque a estos planteamientos se llega, por la escasez de restos almohades en al-Ándalus y por falsas adscripciones de obras almorávides o mardanisíes (tardoalmorávides).

Actualmente se cuenta con más elementos de juicio aportados, sobre todo, por la arqueología, lo que permite reconsiderar el arte almohade sobre una base más sólida, clarificándose el confuso panorama legado por la historiografía¹⁹. Navarro y Jiménez están convencidos de que la unidad cultural en el Occidente Musulmán con los almorávides, se intensificó en época almohade, expresándose en un solo estilo “reformado” a ambos lados del estrecho, por lo que no se puede argumentar que el arte

¹⁵ Como los descubrimientos de los patios de Contratación (Manzano “Casas y palacios”); Patio de la Montería (Tabales 2000, “Investigaciones arqueológicas en el Alcázar de Sevilla”); El despoblado de Siyasa (Navarro, “Un ejemplo de vivienda urbana”); Navarro y Jiménez, “La decoración almohade en la arquitectura doméstica”; ID. “Estudio sobre once casas de Siyasa”); etc.

¹⁶ Navarro y Jiménez, con referencia al texto de L. Torres Balbás “Arte Almohade, arte nazarí, arte mudéjar”, Madrid 1949 o a “Las yeserías” del mismo autor. También referencias al texto de Alfonso Jiménez “Andalucía islámica: Las yeserías de la Giralda”, Granada 1983 o a textos de Terrasse, H., *L’art hispano-mauresque des origines au XIII siècle*, París, 1932; etc.

¹⁷ *L’art hispano-mauresque des origines au XIII siècle*, París, 1932, Pág. 274

¹⁸ Torres Balbás, Leopoldo, *Arte almohade, Arte Nazarí, Arte Mudéjar*, IV Ars Hispaniae, Plus Ultra, Madrid 1949, pág. 48, refiriéndose a una corriente más rica y exuberante propia de lo hispano-almorávide y otra con criterios más sobrios, aunque éste siempre se refirió con precaución a estas cuestiones

¹⁹ Desde el descubrimiento del Patio de Contratación (Manzano, 1995) y Montería (Tabales, 2003) en Sevilla; el despoblado islámico de Siyasa (Navarro, 1985), La decoración almohade en la arquitectura doméstica; ID. Estudio sobre once casas de Siyasa (Navarro y Jiménez, 1995 y 1996) en Siyasa; etc.

almohade peninsular fuera diferente del magrebí. Hay restos que hoy día se sabe que son prealmohades (almorávides o mardanisíes), aunque tradicionalmente fueron considerados almohades²⁰. También es incorrecta la datación de los restos del palacio setabense de Pinohermoso, donde Torres Balbás (1949) lo relacionaba con los monumentos almorávides conocidos, por lo que lo incluyó en el capítulo dedicado al arte almohade (Vol. IV de la enciclopedia *Ars Hispaniae*)²¹. Igualmente hay ejemplos post-almohades (nazaríes o mudéjares) que han sido fechados en época almohade²², aunque una vez publicado el palacio hudí de Santa Clara de Murcia²³, las casas de Onda²⁴ y la casa nº 6 de Siyasa²⁵, fechados en los años inmediatos a la caída almohade en Al-Andalus, se ha visto que los tres edificios podrían ser indistintamente calificados como tardoalmohades o protonazaríes, estando ausente en los tres, la palma con relleno vegetal (nazarí y mudéjar). Sin embargo, tanto en el Cuarto Real de Santo Domingo como en la capilla cordobesa se encuentra presente esta palma, lo que demuestra que la obra granadina es nazarí y la cordobesa mudéjar (Navarro y Jiménez, 2005).

Del mismo modo y a partir de una documentación fotográfica, Alfonso Jiménez identifica como almohades unas yeserías de la Giralda que fueron destruidas en la restauración de Fernández Casanova y Gestoso entre los años 1885 y 1886, localizándose entre ellas un ave con las alas desplegadas, considerando este motivo zoomorfo como parte de “las obras decorativas de la torre que se inauguró en 1198”²⁶. Navarro y Jiménez (2005) se resisten a aceptar esta propuesta, además de por lo excepcional del tema en época almohade, por el hecho de estar en un edificio religioso. Además comprueban que en el último cuarto del siglo XII, el arte almohade se hizo poco a poco más recargado, evolucionando hasta llegar a lo que hoy se conoce como arte nazarí y meriní.

Con todo ello, y con un panorama tipológico bastante más claro en el Alcázar, existen estudios realizados, relacionados de alguna forma con las yeserías del monumento: en función de la evolución histórica de su construcción (Hernández y Morales, 1999), (Lleó,

²⁰ Como el alminbar de la Kutubiyya, obra cordobesa que según Basset y Terrasse (1926) fue un encargo de Abd al-Mumin y que Sauvaget (1949) veinte años después concluyó que era almorávide, propuesta que fue confirmada al leerse en una de las inscripciones la fecha en que comenzó su fabricación, 1137, ordenada por Ali ibn Yusuf (Bloom, 1998).

²¹ La relación entre estas yeserías y las murcianas del Castillejo de Monteagudo le indujeron a sugerir que también la decoración de este edificio debía fecharse a fines del siglo XII o principios del XIII. Aunque según Navarro y Jiménez, 1995, son la expresión del poder local de Ibn Mardanis, donde persistió la tradición artística almorávide en un momento en el que el estilo almohade se había impuesto en el Occidente musulmán.

²² Algunos investigadores españoles siguen defendiendo una cronología almohade para las yeserías del Cuarto Real de Sto. Domingo de Granada, para las de la mezquita de Fíñana o para las de la cúpula de la Capilla Real de San Fernando en la catedral de Córdoba (navarro y Jiménez, 2005)

²³ Navarro, 1995 “Un palacio protonazarí en la Murcia del siglo XIII”

²⁴ Navarro y Jiménez, 1995 “La decoración protonazarí en la arquitectura doméstica: La casa de Onda”

²⁵ Navarro, 1991 “Un ejemplo de vivienda urbana andalusí: la casa nº 6 de Siyasa”

²⁶ Jiménez, 1983 “Las yeserías de la Giralda”

2002); de sus pinturas murales (Valle y Respaldiza, 2000), como soportes de las mismas; de tipo arqueológico, donde a través de excavaciones y estudios murarios se han obtenido muestras de este material (Tabales 2000, Tabales 2006); de tipo epigráfico sobre madera, mármol o yeso (Cano y Tawfik, 2004); de tipo arquitectónico incluyendo el análisis tipológico de los yesos ornamentales (Pavón, 2004); o memorias de restauración donde se refieren cuestiones tipológicas o de cronologías de las mismas (Baceiredo y López, 2004) (Fig. 7), para dirimir cuestiones de antigüedad y contemporaneidad; además, se documentan trabajos más completos y generales sobre la evolución histórica de la construcción con yeso (Villanueva, 2004), estudios en torno al yeso y sus aplicaciones (Díez, 2004) o análisis tipológico de yesos ornamentales, relacionados con la Aljama Almohade de Sevilla (Huarte, 2001).



Figura 7. Restauración del hueco almohade del Patio del Yeso (Baceiredo, 2003)

Por otro lado, aunque escasos, en los últimos tiempos son varios los que investigan sobre los problemas del material, existiendo algunos estudios de carácter científico-técnico, ya sean de caracterización de materiales o de su conservación preventiva, entre los que podemos destacar los siguientes:

La tesis doctoral de Rubio, (2006) sobre técnicas y conservación de las yeserías de la Alhambra, de la que han surgido trabajos como los de Catalogar edificios con yeserías anteriores al período nazarí de Granada, o determinar una técnica de fabricación, así como una técnica de fijación de placas de yeserías partiendo de la observación de los materiales de yeso aplicados, son algunos resultados de este trabajo de investigación

realizado por Ramón Rubio Domene, bajo la dirección de Fernando Bolívar Galiano, del Departamento de Pintura de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad de Granada y de María José de la Torre del Departamento . En ella se han analizado yeserías originales de la Alhambra y se han comparado con otras de la misma provincia de Granada, analizándose su composición mineralógica mediante DRX y STEM con microanálisis EDAX para análisis puntuales. También se llevaron a cabo ensayos de humedad y envejecimiento en probetas tratadas, arrojando alguna luz sobre el estado actual y origen de un tono anaranjado que presentan la mayor parte de las yeserías, así como permitir diferenciar yeserías realizadas en el período almohade-almorávide, nazaríes y posteriores.

La composición mineralógica de los materiales que componen las yeserías se estableció mediante difracción de rayos X, método polvo, utilizándose un difractómetro Philips PW 1710 y otro Siemens D5000. También se prepararon láminas de las muestras, embutidas en resina, y se observaron al microscopio petrográfico, utilizándose un microscopio Olympus BH-2. Los cortes una vez pulidos se estudiaron mediante SEM con un Jeol JSM-5800.

Otro de los principales objetivos de esta tesis, fue el conocimiento del material, de manera que permitiese definir patologías y alteraciones para ayudar a determinar el mejor tratamiento de conservación-restauración posible. Para ello, se realizaron ensayos con consolidantes, al objeto de determinar los que reunían un mejor comportamiento como barrera ante el agua y endurecimiento del yeso. La observación de éstos, les condujo a pensar en que el mayor agente de deterioro es el agua, y en concreto la solubilidad del yeso en ella. Para la selección de estos consolidantes, se tuvo en cuenta el hecho de que hubieran sido utilizados anteriormente en intervenciones de restauración sobre yeso, o que por sus características, presentasen una buena afinidad con este material.

Los productos utilizados como consolidantes se dividieron en tres grupos:

Resinas acrílicas, Silicatos de etilo y sustancias naturales y una vez determinados los consolidantes a utilizar, y según las características que estos reunían, se eligieron los disolventes.

Posteriormente, para conocer el comportamiento ante la acción del agua de los diferentes consolidantes, se realizaron una serie de ensayos como:

Absorción libre de agua.- Al objeto de comprobar en el yeso su máxima saturación de agua, y en qué momento la resina aplicada deja de ser impermeable a la misma para dejar libre la absorción de agua, es decir, se decohesiona y deja de ser eficaz.

Desorción libre de agua.- Para este ensayo se utilizaron las mismas muestras utilizadas en el ensayo de absorción libre de agua. Una vez saturadas de agua durante los 30 días y tomando su peso, se pusieron a secar a una temperatura constante de 18-20°C y se tomaron medidas de peso en 16 registros a intervalos de tiempos.

Ante los resultados de los ensayos realizados, se puede decir que los compuestos protectores de consolidantes naturales tipo gomas, y compuestos de consolidantes acrílicos en emulsiones acuosas, no ofrecen ninguna resistencia como capa protectora que impida la acción del agua. Por el contrario, ofrecen mejor comportamiento las resinas con base acrílica de polímeros y copolímeros de etil y metil metacrilato, que oponen mayor resistencia a la acción del agua, obteniéndose mejor comportamiento en concentraciones elevadas.

Los que en líneas generales mostraron mejor comportamiento de impermeabilidad al agua líquida y permeabilidad al vapor de agua fueron los consolidantes de metilsiloxano y mezclas de siliconas, obteniéndose un mejor comportamiento en estas últimas, aunque no por ello se recomienda su utilización sin reparo, ya que a largo plazo, introducir una sustancia no afín al yeso puede extrañar problemas de aceptación o de reversibilidad.

A la conclusión que se llegó, es que no existen productos buenos o malos, sino productos adecuados a cada tipo de material, condiciones medioambientales, formas de aplicación y variantes del producto en diferentes mezclas según la marca comercial.

También la forma de degradación fue diferente cuando se empieza a degradar el consolidante, llegando a producirse una erosión uniforme sobre el yeso al desaparecer el consolidante. En los consolidantes que no forman capas, el yeso se presenta fácilmente erosionable en su superficie externa, haciéndolo uniformemente en todas sus caras. Pero en los consolidantes que forman capa se deteriora el yeso primero por los bordes, para después continuar sobre sus caras, siendo una degradación irregular y quedando en buen estado las zonas con mayor presencia de consolidante.

La tesis doctoral de David Sanz Arauz (2010), sobre el análisis del yeso empleado en revestimientos exteriores mediante técnicas geológicas, contiene un análisis histórico del

material y de su fabricación artesanal, centrándose en los yesos de Albarracín (Teruel), para su aplicación en revestimientos exteriores. El estudio experimental se centra en la caracterización de las materias primas, de los productos cocidos artesanalmente y de los materiales hidratados, midiendo las propiedades físicas y mecánicas de las muestras a medio y largo plazo en ambiente exterior y bajo lámina de agua. Los resultados se comparan con los de poblaciones de yesos y escayolas industriales sometidas a los mismos tratamientos, llegándose a algunas conclusiones, como la de que estos yesos artesanales tienen un buen comportamiento al exterior. Algunos resultados son que:

1. El yeso de Albarracín está compuesto por anhidrita e impurezas activas e inertes (sílice cristalina y amorfa; arcillas y fases hidráulicas) producidas por la naturaleza del sistema de fabricación artesanal, en un horno con un intervalo de temperatura entre 200 y 1000°C con alimentación continua de combustible durante 36 horas.
2. La anhidrita conjuntamente con las fases hidráulicas fraguan en etapas sucesivas, mejorando con el tiempo y en presencia de humedad las propiedades físicas y mecánicas del producto final.
3. El sistema de hidratación es de una gran complejidad y tiene una cinética muy lenta en presencia de impurezas.
4. Los iones presentes en el yeso y en las impurezas que le acompañan, fundamentalmente estroncio y hierro, influyen en el color del producto final y en los procesos de deshidratación e hidratación.
5. El buen comportamiento del yeso de fabricación artesanal al exterior se debe a la naturaleza de sus fases minerales y al sistema de hidratación de éstas.
6. La cal producida en la descomposición térmica del yeso en revestimiento al exterior evoluciona carbonatándose. Por lo que el contenido en cal o calcita de los yesos tradicionales puede provenir de una fuente interna al sistema y no en todos los casos de un aditivo añadido al producto.
7. A nivel metodológico se confirma la utilidad y adecuación del ensayo físico de hidraulicidad y se demuestra la idoneidad de las técnicas geológicas para la caracterización de materiales históricos inorgánicos.

El estudio de **Villanueva** (2008), sobre el fenómeno de la resistividad al vapor y el efecto impermeabilizante que producen los recubrimientos de pintura sobre diversos tipos de yeso y escayola.

Para ello, ensaya probetas desnudas y recubiertas con distintos tipos de pintura, así como coloreados en masa, obteniendo valores experimentales de la difusividad o permeabilidad al vapor o su inverso la resistividad al vapor de agua.

Parte de la hipótesis del arquitecto Queirolo Valera, de suponer que todas las pinturas con las que se recubre el yeso son, en menor o mayor grado un impedimento para su transpiración, tanto en la desecación de la obra, como en su acción de regulador de la humedad, por lo que recomendaba que, para mantener la permeabilidad de los revestimientos y prefabricados de yeso, lo mejor es su coloración en masa.

Los resultados confirmaron parcialmente la hipótesis, comprobándose el efecto impermeabilizante de diferentes tipos de pinturas.

Para llevar a cabo la parte experimental de este estudio, se optó por el método del vaso húmedo que consiste en tapar un vaso con agua con la probeta a ensayar y sellar la junta con silicona, introduciendo posteriormente el vaso y la probeta, en una cámara climática con controlador de temperatura y humedad, estableciéndose una diferencia de presión de vapor entre el ambiente interior del vaso con una humedad relativa del 100% y el exterior, que en este caso es del 33% de humedad relativa, ambos a 40 °C. Así, se obtiene el coeficiente de difusividad o permeabilidad al vapor d_v ($\text{g.cm/mmHg.m}^2.\text{día}$) o su inverso el de resistividad al vapor r_v ($\text{mmHg.m}^2.\text{día/g.cm}$).

Se realizaron además, otros ensayos con objeto de averiguar la posible influencia de la adición de pigmento en algunas propiedades físicas de las muestras, y ensayos de dureza superficial Shore C.

Con todo esto, se llegó a la conclusión de que la resistividad al vapor aumenta muy poco con la coloración en masa y con pinturas al agua (temple), siendo más notable el aumento en la pintura plástica y subiendo de modo muy considerable con la pintura al esmalte y la laca. La permeabilidad en probetas coloreadas en masa no varía ni con el tipo de pigmento ni con el porcentaje empleado.

La experiencia de utilizar un hidrófugo de silicona resultó muy interesante, ya que en los tres casos ensayados aumentó muy poco la resistividad sobre los valores de las probetas sin tratamiento.

También, López Borges et al.²⁷, escogieron y analizaron pigmentos y materiales de cinco fragmentos de yeserías policromadas, procedentes de La Alhambra de Granada, fechadas en la dinastía Nazarí (siglos XIII-XV), que habían sido seleccionados para la nueva Sala de Arquitectura en el Victoria and Albert Museum de Londres, para representar el arte y arquitectura dentro del mundo de la España islámica. Los fragmentos poseían escasa documentación en los archivos del museo y además se pensaba que algunos pudiesen ser réplicas. Estos análisis arrojaron algunas conclusiones e hipótesis sobre la autenticidad o no de las yeserías.

Ariadna Fernández Pablos obtuvo en 2007, el Diploma de Estudios Avanzados (D.E.A.) por el trabajo "Documentación y Conservación de Yeserías", dirigido por el Dr. Víctor Medina, durante los cursos 2004-2007. Como componente del grupo de investigación HUM-757 cuyo responsable es el Dr. Julio Navarro Palazón, junto a otros miembros, como la Dra. Ana García Bueno. Todos ellos, presentan diversos trabajos como: "Intervención de urgencia en una casa musulmana de la calle S. Buenaventura nº 2, Albaycin, Granada", "Estudio previo a la Restauración de las yeserías del Oratorio de la Madraza", "Las yeserías Nazaríes del Mihrab de la Mezquita de Fiñana" o "La documentación gráfica en los estudios previos a la restauración, aplicados al caso de las yeserías de la Madraza de Yusuf I de Granada", realizándose estudios materiales de las obras (estructura, composición y técnica de ejecución), para determinar las alteraciones existentes e identificar las restauraciones.

Analizando la historia del Alcázar y limitándonos a las zonas en las que se ha intervenido para la toma de muestras del monumento²⁸, se documentan realizaciones como las efectuadas en el Patio del Yeso (almohade), donde se manifiesta por un lado que fue en la década de los ochenta del siglo XX cuando se procedió a su definitiva restauración por Rafael Manzano Martos. Los restos del Palacio del Yeso fueron localizados por Francisco Tubino en 1885, consolidándose a comienzos del siglo XX por José Gómez Otero y José Gómez Millán (Hernández y Morales, 1999). Por otro, simplemente, que fue edificado en el siglo XII (Marín, 1998), o que fue descubierto por Tubino en 1886 y acertadamente reparado en 1915 por el Marqués de la Vega Inclán (González, 1998), o también, "fue descubierto y publicado por Tubino en los últimos años del pasado siglo, consolidado y

²⁷ López; Burgio y Clark 2005

²⁸ El patio del Yeso almohade del siglo XII, la Sala de la Justicia mudéjar del s. XIV, el patio del Sol mudéjar y el Palacio medieval de verano de Pedro I (planta baja) con el Patio de las Doncellas, el Salón de Embajadores, El Cuarto Real, el Cuarto del príncipe, la Sala del techo de Felipe II, la Sala del techo de Carlos V, el Salón del techo de los Reyes Católicos y el patio de Muñecas, al que hay que añadir la zona original de la planta alta del palacio o dormitorio de invierno del rey D. Pedro, junto a la Cámara de Audiencias y el cenador de la Alcoba o de Carlos V, construido entre 1543 y 1546, antiguo centro de una huerta de naranjos, antes de convertirlas en jardines Felipe II

restaurado por el marqués de la Vega-Inclán en los años 1918 al 20, ha sido restaurado y reexplorado por mí en los años 1969 y 1971” (Manzano, 1999)

En el mismo orden de documentos escritos y refiriéndonos al Patio del Sol y su cuarto superior del mismo nombre, se indica que ocupa el frente norte del patio de la Alcobilla²⁹ y que de las construcciones medievales que integraron este sector del Alcázar, se conserva parte de una arquería mudéjar en el acceso que al mismo se realiza desde el apeadero (Hernández y Morales, 1999).

En lo relativo a la Sala de la Justicia o del Consejo, se señala que fue construida por Alfonso XI, tras la batalla del Salado (1340), sobre los restos del antiguo Palacio Almohade (Marín, 1998), y también que, algunos autores suponen que en su fábrica se aprovecharon antiguas estructuras almohades, atribuyendo su actual configuración a Alfonso XI, aunque no obstante, y atendiendo a su ornamentación y a las inscripciones árabes de sus paredes, similares a las del rey D. Pedro, hay quien atribuye su fábrica a éste último monarca (Hernández y Morales, 1999).

En referencia al Palacio medieval del rey D. Pedro, edificio que contiene la mayoría de Salas y Patios estudiados, iniciando la descripción por el patio de las Doncellas (como centro de las dependencias oficiales), se expresa por una parte, que fue edificado entre 1364 y 1366 por Pedro I de Castilla, y también, que el conjunto se remata con un friso de inscripciones cúficas musulmanas, motivos de atauriques con los escudos de Castilla, León y la heráldica Imperial³⁰ (Fig. 8), que revelan las importantes intervenciones ejecutadas en el patio durante el siglo XVI (Marín, 1998); por otro se dice que fue completamente renovado en el siglo XVI (Carriazo, 1940?), y por otro, se revela, que en 1534 se contrataron piezas marmóreas para la galería del patio, a los escultores Aprile de Carona y Bernardino de Bissone.

A partir de 1.560, reinando Felipe II, se sustituyeron los primitivos soportes de la galería baja por otros contratados en 1.561 con los marmolistas Francisco y Juan de Lugano³¹, se peraltaron los arcos centrales de cada galería, rehaciéndose los machones en que apoyan, y sus yeserías. El friso con las inscripciones cúficas corresponde a obras del rey D. Pedro, colocándose entre ellas los escudos de Castilla y León, de Carlos V, de la

²⁹ Se levantó a comienzos del s. XX y debe su fisonomía actual a una profunda remodelación desarrollada en la década de los setenta

³⁰ Escudo con águilas bicéfalas y el tema de las columnas herácleas con el lema “Non plus ultra”

³¹ Que se completaron con los encargados a Francisco de Carona dos años mas tarde

Orden de la Banda³² y la empresa de las columnas de Hércules con el lema. Así pues, sobre la primitiva obra mudéjar se incorporaron nuevos emblemas y heráldicas durante el siglo XVI³³ (Hernández y Morales, 1999).



Figura 8. Imagen de los escudos de Castilla, León y la heráldica Imperial

El Salón de Embajadores y las Salas adyacentes, constituyen el núcleo fundamental del viejo palacio de Al-Mutamid, cuyas estructuras subsisten gracias a la reedificación mudéjar de D. Pedro (Cómez, 1996). En su construcción trabajaron artífices mudéjares sevillanos y toledanos, así como musulmanes granadinos (Lleó, 2002). Las Salas que lo rodean eran originalmente de una planta y no han quedado noticias de que en esta etapa medieval se realizaran obras de importancia en el palacio, con la salvedad de las habitaciones domésticas en torno al Patio de las Muñecas, que fueron bastante remodeladas en época de los Reyes Católicos.

Posteriormente, en la era moderna, el uso reiterado de la heráldica y de los emblemas reales permite fechar con cierta precisión las obras que se realizaron, ya que la inclusión o no de la granada en el escudo real permite deducir si se trata de una obra anterior o posterior a 1492.

Durante los Austrias mayores, además de las obras realizadas en el Patio de las Doncellas y en el piso alto, se intercalarán escudos y emblemas imperiales en las yeserías mudéjares del piso bajo y se construye sobre una vieja qubba musulmana, el

³² Esta orden, instituida por Alfonso XI en 1331, es signo orientador de cara a la cronología de los edificios mudéjares o árabes, al reivindicar el clima de convivencia arabocristiana entre 1362 a 1391, durante el también reinado de Muhammad V (Pavón Maldonado, Basilio 2004)

³³ En las jambas de los arcos centrales aparecen temas renacentistas, balaustres platerescos, figuras de damas, copas, guirnaldas, cabezas de angelotes y cartelas con inscripciones, como en las del último arco del ángulo suroeste, en el paramento interior, donde aparece una cartela con la leyenda "R.F.PII", "1569 a", "Francisco" "Martínez" y "M", que se refieren a los años de la obra renacentista 1567-69 (bajo el reinado de Felipe II), siendo el autor de las mismas, el maestro alarife Fco. Martínez

cenador de la huerta de la Alcoba. A finales del s. XVI se abrieron las ventanas altas con sus balcones forjados al salón de Embajadores y se realizó el corredor del príncipe.

Con la llegada de los Austrias menores, se realizaron en el tránsito del s. XVI al XVII diversas reparaciones en el palacio mudéjar. Tras las destrucciones del s. XVIII producidas por el terremoto de Lisboa, se llevarían a cabo en el palacio Mudéjar las poco afortunadas obras de Manuel Zintora, en los primeros años del s. XIX, para hacer visible desde la calle el Patio de las Doncellas, aunque tal desaguizado duró poco (Lleó, 2002).

En definitiva, el Alcázar sufrió numerosas intervenciones, transformaciones y nuevas realizaciones a lo largo de su existencia, que incluían muchas de las decoraciones islámicas³⁴, documentadas e investigadas por diversos autores, que aclaran bastantes de los acontecimientos constructivos sufridos en el palacio, pero no todos³⁵, ya que han podido producirse actuaciones que hayan quedado sin documentar³⁶, bien por la poca importancia de la intervención, bien porque no se haya considerado necesario³⁷, o bien por no haberse advertido o documentado, lo que permite que sigan existiendo lagunas en el proceso edificatorio y restaurador del palimpsesto que supone el Alcázar, emanado durante el devenir de los siglos, aunque se han producido y se siguen realizando grandes avances en el conocimiento del complejo palaciego.

³⁴ Sobre todo éstas, debido a la debilidad del material de yeso aplicado en exteriores sin una debida protección

³⁵ Por ejemplo, las obras llevadas a cabo por Rafael Manzano para vivienda junto al apeadero y al patio del Sol, de las cuales no he hallado documentación gráfica o escrita alguna, aunque sí algunas referencias

³⁶ Según la fotografía aportada por Carriazo, Juan de M., *El Arte en España: Alcázar de Sevilla*, Edición H. de J. Thomas, Barcelona 1940?. ¿Cómo es posible que el patio del yeso fuera restaurado por el Marqués de la Vega Inclán en 1915 y en 1940 su estado fuera el que muestra dicha fotografía? Visto otros números de *El Arte en España* de J. Thomas y bibliografías del Marqués, se comprueba que éste número de *El Arte en España* se editó en 1930 y la restauración de las yeserías del pórtico fue realizada por Rafael Manzano entre 1969 y 1971(ver conclusiones)

³⁷ Sobre todo antiguamente

1.4.- Enfoque Patrimonial

Se ha considerado este apartado como algo que de por sí podría constituir el objeto de una tesis y que creo necesario mencionar, a pesar de no ser el objeto explícito y material de este trabajo, ya que el significado etnológico del propio oficio y sus resultados quedan implícitos en el mismo.

Un motivo de yeso casi siempre se ha considerado como realizado con un material pobre, y consecuentemente sus decoraciones como algo secundario, por ello se ha llegado a plantear si las decoraciones con motivos de arabescos deben ser consideradas como obra de arte, o como el resultado de una creación artesanal.

En la España árabe y mudéjar las yeserías decorativas nos ponen en relación con la historia a través de los arabescos de raíces romanas, helenísticas, persas, omeyas, abbasíes y califales de Córdoba. Las yeserías, aunque podrían separarse del muro como si se tratara de tapices, no romperían la identidad de los principios compositivos que regían tanto la ordenación arquitectónica como la de estos decorados, donde las figuras geométricas se reproducen indefinidamente. Arquitectura y ornamento se revelan como expresión de unas mismas ideas fundamentales (González, 1998).

Estas yeserías, se han vinculado tradicionalmente a los discursos y metodologías propios de la obra de arte, concibiéndose como una manifestación artística y artesana³⁸, pero un arte menor de clara intención decorativa, subrogada a la arquitectura como un añadido iconográfico, estético, epigráfico o simbólico, por lo que le ha ido siendo también de aplicación toda la teoría que se ha ido formulando sobre los Monumentos. Y como el concepto de Monumento ha estado durante mucho tiempo estrechamente ligado a una concepción determinada preferentemente por el peso de la Historia y la Historia del Arte³⁹, las yeserías se han interpretado preferentemente desde los postulados de estas disciplinas, prestándose atención prioritaria a aquellas yeserías que poseen el carácter de obras de arte o en cualquier caso atendiéndose éstas desde la teoría y práctica restauradora, y también desde la normativa jurídica (Morente, 1996), casi en exclusividad a sus aspectos tipológicos, técnicos, cronológicos y iconográficos, olvidando otros significados imprescindibles para la lectura de cualquier Monumento⁴⁰ (Fig. 9).

³⁸ La yesería es un producto de artesanos más que un arte, pero si se eliminara la decoración de yeso, se perdería una gran parte de la esencia del arte árabe como estilo.

³⁹ Concepto tradicional de Patrimonio Histórico Artístico

⁴⁰ Como el significado material o el etnológico del oficio artesanal

La vida cotidiana, el trabajo y los espacios de producción, vivienda y ocio, también generan materiales cuya consideración ha venido a superar los viejos límites del interés cultural y, por ello, la consideración jurídica y administrativa del Patrimonio, habiendo sido decisivo para ello la extensión pluridisciplinar del mismo⁴¹.

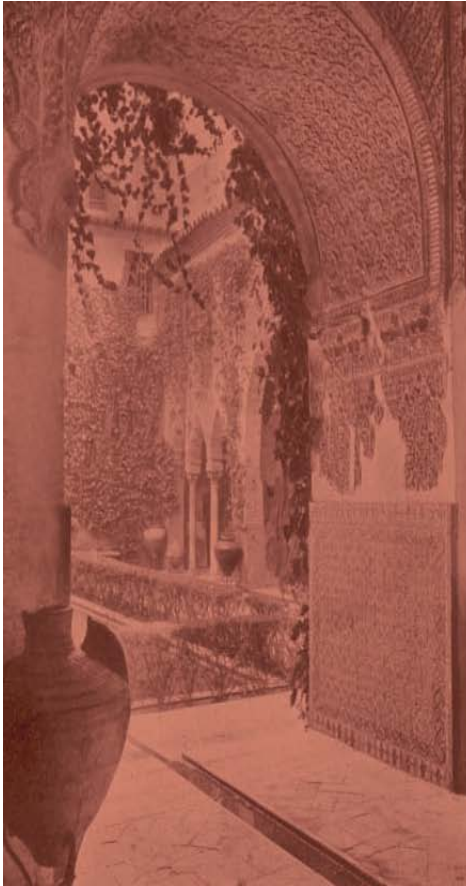


Figura 9. Amasado manual del yeso

Igualmente, los criterios de calidad, habitabilidad, durabilidad, economía, apreciación estética, productividad, etc. entre una etapa artesanal y otra industrial o post industrial, como la actual, son tan distintos que se pueden cometer errores graves al considerar, con los criterios de una, las edificaciones pertenecientes a otra época (Villanueva, 2004).

Esto es importante para establecer criterios en la restauración y rehabilitación de edificios, ya que para intervenir en un edificio realizado en una etapa artesanal, caracterizada por una producción escasa y discontinua de materiales, una mano de obra organizada en gremios y pocos medios para su puesta en obra, se ha debido tener en cuenta que la disponibilidad geográfica de un material determinado influye en las unidades constructivas que van a caracterizar las edificaciones de la zona, adaptándose a las características conocidas del mismo, y a su vez, acomodándose su aplicación y puesta en obra, a los medios y a las técnicas existentes de entonces.

⁴¹ Muchos materiales a base de yeso se han utilizado a lo largo de la historia en edificios y construcciones que forman parte de nuestro patrimonio, y la necesidad de su conservación está consiguiendo que se recuperen parte de las técnicas de preparación y aplicación que habían caído en desuso



2. ANTECEDENTES

2.1.- Antecedentes Históricos

2.1.1.- El Yeso Artesanal. Origen, usos y evolución

2.1.2.- Preparación y oficio del yeso artesanal. Aspectos históricos

2.2.- Antecedentes Técnicos y científicos

2.2.1.- El material de yeso, su fabricación, propiedades y variedades artesanales

2.2.2.- Historia y técnica de los yesos Artesanales islámicos en la Península Ibérica

2.2.3.- El Alcázar: Historia e intervenciones sobre las zonas de estudio

2.3.- Antecedentes Arquitectónicos de las Yeserías del Alcázar

2.3.1.- Arquitectura y Yesería Almohade referida a las zonas de estudio

2.3.2.- Arquitectura y Yesería Mudéjar referida a las zonas de estudio

2.4.- Otras aportaciones documentales

2.- ANTECEDENTES

2.1.- Antecedentes Históricos

La historia de la construcción no discurre en una evolución continua, sino que está marcada por dos períodos revolucionarios, que originan etapas de características muy diferentes (Villanueva, 2004).

La revolución neolítica, con la aparición de la agricultura, convierte al ser humano en sedentario frente al nomadismo dominante, empezando a elaborar y construir en una etapa que podría denominarse artesanal, caracterizada por una escasa y discontinua producción de materiales. Con la revolución industrial se modifican las condiciones de producción de materiales y sistemas constructivos, dando paso a una etapa de tipo fabril, con una producción mecanizada de materiales que procurara englobar todo el proceso constructivo.

Hoy día la industria, adaptándose a las necesidades, ha desarrollado muchos y nuevos productos, pasando por la prefabricación total de los sistemas constructivos para llegar a una mayor durabilidad de las edificaciones.

2.1.1.- El Yeso Artesanal. Origen, usos y evolución

En cuanto el hombre del Neolítico empezó a dominar el fuego a baja temperatura, pudo realizar en viviendas, templos y palacios, diversas unidades de obra con yeso.

Una de las primeras referencias del empleo del yeso por el hombre, procede de los restos arqueológicos de la ciudad neolítica de Katal Huyuk (Anatolia), datados entre el 6.600 y 5.650 antes de C., y en los que se utilizó un material que los arqueólogos han identificado como yeso, estando presente en suelos, muros y techos de las viviendas, así como en el soporte de pinturas y en relieves de animales. También se han hallado cerámicas incisas, en los albores del Neolítico, que presentaban dibujos elaborados con un material blanco y duro, compuesto en general por calizas mezcladas con polvo de huesos calcinados, yesos y arcillas (Gárate, 1999).

Posteriormente, dentro de las culturas mesopotámicas, se levantaron construcciones como el Palacio de Mari (1.800 a. C.), donde se cita su empleo, mezclado con tierra cribada para el revestimiento de los muros.

Aunque existen referencias puntuales de la utilización del yeso por otras culturas además de las citadas, se puede afirmar que la cultura egipcia fue la que consiguió un mayor dominio de este conglomerante y de sus aplicaciones. Según Gárate, los egipcios fueron los primeros en utilizar el yeso semihidrato para unir los bloques de la pirámide de Kheops, también se usó en cantidad de tumbas, revistiendo la piedra del terreno como base de pinturas (Villanueva, 2001). Otros autores como Álvarez et al. (1995) nos comentan acerca de la existencia de distintos tipos de yesos en función de su aplicación:

1. Yesos para colocación de sillares. Compuestos básicamente por anhidrita insoluble, facilitaban la colocación de los grandes bloques por deslizamiento al actuar como lubricante. En estos yesos se han hallado otros minerales como carbonatos y cuarzo, además de otras trazas de aditivos orgánicos como huevo, leche o vino.
2. Yesos de acabados. Compuestos principalmente por semihidrato, se emplearon para el taponado de las irregularidades superficiales, de juntas de acabado o de enlucidos de decoración.
3. Yesos de decoración. Formados por morteros de yeso y calcita como árido de adición intencionada, más que como impureza ya que blanqueaba la mezcla final, a la vez que aumentaba su plasticidad y adherencia al muro a ornamentar. Esta adición de caliza a los enlucidos sería una práctica frecuente en la época tardía de la era faraónica (300 a. C.).

En los palacios cretenses⁴², durante el minoico tardío (2.000 -1.475 a.C.), la obra de fábrica se revistió de pasta de yeso o mortero de cal, utilizando la decoración al fresco. En los suelos de Cnossos, también se halla presencia de yeso endurecido con restos de calcita como árido⁴³.

En la civilización griega el yeso es muy utilizado, como material de revestimiento, en estucos y guarnecidos (Villanueva y García, 2001), siendo de esta época la referencia escrita sobre el “gypsos”⁴⁴. También fue utilizado por los antiguos griegos para hacer vaciados de estatuas (García, 1988-89). Más adelante Caton y Columela citaron diversas

⁴² Cnossos, Festo, Malia y Zacro

⁴³ Alejandro, 1998; Gárate, 1999

⁴⁴ Palabra griega que significa tierra más agua para referirse al yeso y a la cal. Se debe a Teofrasto (372-287 a.C.), discípulo de Platón y Aristóteles, en su Tratado de la Piedra, donde describe el proceso de cocción y la existencia de yeserías en Chipre, Fenicia y Siria, indicando la posibilidad de volverse a cocer

aplicaciones del yeso, pero fue Plinio el viejo el que más se refirió a este material, citando los yacimientos de espejuelo en Segóbriga, de calidad superior al de Sicilia, que se exportaba a Roma por Cartagena, para su empleo como acristalamiento de huecos (Villanueva, 2004).

En Roma se utiliza poco el yeso, siendo denominado por Vitruvio⁴⁵ como “gypsum” en uno de sus diez libros. Se empleó en la decoración interior de los muros en Pompeya y aún quedan restos de yeserías clásicas en Roma y en otras regiones del antiguo imperio, como las halladas en Villajoyosa (Alicante) (Villanueva, 2001). El uso del yeso se extiende en la época bajoimperial, sobre todo en las provincias, por ser un material más barato y de fácil elaboración.

La gran tradición de su empleo proviene de las culturas mesopotámicas, por su abundancia natural y por su clima seco, favoreciéndose así su conservación. Los sasánidas, herederos de antiguas culturas, establecieron su imperio frente a Roma, en Asia Menor, entre los siglos I a.C. y el VI d.C., desarrollando una importante cultura arquitectónica, caracterizada por el empleo del yeso. En Persia, el yeso se denomina “gatch”, reutilizado y rebautizado por los musulmanes como “Al-yiz” y mantenido en el castellano antiguo como “aljez” (Lavado, 1984).

Un ejemplo interesante es el Alcázar Omeya construido sobre la antigua Ciudadela Romana de Amman (100-400 d.C), en la actual Jordania. En este edificio se pueden observar propuestas formales sasánidas y técnicas de yeso con materiales romanos y bizantinos. El yeso se encuentra en revestimientos, en el interior de fábricas y en elementos prefabricados usados en la confección de arcos. (Almagro y Arce, 1996).

Los árabes Omeyas toman de esta cultura persa su uso, manifestándose particularmente en sus alcázares de Siria. Con los árabes se difunde el empleo del yeso en España, zonas como el Valle del Ebro y el sur de Aragón son partidarias de su utilización, incluso como material de juntas en fábricas resistentes de piedra, de ladrillo o en tapiales. En otras son empleados en guarnecidos, enlucidos, suelos y yeserías (Villanueva, 2001). La construcción islámica, fue capaz de crear a partir del yeso, material bastante abundante en Oriente Medio, Norte de África y Sur-Sureste de la península Ibérica, estucos de yeso, denominados comúnmente yeserías, maravillosamente labrados con complejas geometrías y atauriques, de un elevado grado de refinamiento, siendo algunos de los

⁴⁵ Arquitecto y tratadista romano

ejemplos más relevantes de esta decoración, la Alhambra Nazarí de Granada (s. XI- s. XV), donde se pueden observar distintos tipos de yeserías⁴⁶, o el Alcázar de Sevilla, con sus yeserías almohades y mudéjares, principalmente⁴⁷ (Fig. 10).

El yeso, también forma parte de las edificaciones mudéjares, tanto en su estructura como en su decoración y enlucido, extendiéndose desde el siglo XII hasta el XVI, al ritmo de la conquista cristiana, evolucionando estilísticamente al ritmo en que lo hacía el arte hispano-musulmán y mezclándose con los estilos cristianos internacionales en boga. Los materiales utilizados serán además del yeso, el ladrillo, la madera y los azulejos, aunque también hay realizaciones en sillares de piedra, más utilizados en los estilos cristianos.

La decoración será geométrica, epigráfica y de ataurique, y la tipología de los edificios variada: desde iglesias parroquiales a palacios, pasando por monasterios y sinagogas.



Figura 10. Detalle de yesería mudéjar del Patio de las Doncellas

En Europa, es tradicional el uso del yeso durante la Edad Media, especialmente en la región de París, utilizándose principalmente en revestimientos, tabiquería y chimeneas. Es a partir del siglo XV cuando se puede hablar realmente del yeso como material de construcción, siendo un hecho fortuito el que pone de manifiesto algunas ventajas de este material, ya que durante un gran incendio ocurrido en Londres, sólo los edificios revestidos con yeso superan la catástrofe. Así ante este hecho, el Rey Sol Luis XIV, promulga un decreto por el que prescribe el empleo del yeso como material antiincendio (Díez, 2004).

⁴⁶ En relieve, incrustadas y en losas talladas

⁴⁷ Sin olvidarnos del foco aragonés y Toledano

Durante el Renacimiento es muy utilizado en decoración, siendo uno de los primeros empleos documentados de los estucos de yeso en España, los aplicados en la Basílica del Monasterio del Escorial, donde se construyen 44 altares en scagliola (estucos de yeso taraceados). A partir del Barroco se utiliza profusamente el estuco de yeso, junto con las yeserías tradicionales y la técnica del staff (Villanueva, 2001), lo que va a facilitar muchas decoraciones Rococó.

El barroco español (s. XVI-XVII) influyó en toda América latina e incorporó multitud de motivos realizados en yeso (plafones, volutas, adornos, etc.). En España se produce un gran auge en la realización de yeserías doradas y policromadas, destacando las obras en castilla de los hermanos Corral de Villalpando (Juan, Ruy y Jerónimo) (Gárate, 1999). También en esta época existe la influencia de estucadores italianos, como Paolo Caprani que llega a ser estucador de la corte en este período, durante el cual se realizan obras de estucos de yeso, mesas, scagliolas, e incluso suelos, de gran calidad artística como, el salón Pompeyano del palacio Real de Madrid, mesas de la sala de alabarderos, Casa del labrador de Aranjuez, etc. A finales del barroco, el yeso se utilizaba ampliamente en la construcción y en la elaboración de esculturas.

A partir del s. XVIII, se generaliza su empleo en toda la construcción europea, iniciándose el conocimiento científico de este material con Lavoisier en 1768, presentando en la Academia de Ciencias el primer estudio científico de los fenómenos que prestan la base a la preparación del yeso.

En el s. XIX, el yeso va incorporándose gradualmente a la arquitectura civil como material de revoco y como elemento decorativo en palacios y viviendas (Del Río, 2004). Habrá que esperar hasta finales del siglo XIX, en Estados Unidos, para el surgimiento de un nuevo producto de yeso, la placa de yeso laminado, que se inventan para proteger del fuego las estructuras de madera de los edificios.

En la localidad de Albarracín (Teruel), declarada Monumento Nacional desde 1961, se encuentra el único productor español de yeso tradicional empleado en revestimientos exteriores⁴⁸. Situada a 1.172 m de altura sobre el nivel del mar, se encuadra geológicamente en el dominio de las cuencas alpinas, aflorando en sus cercanías materiales del cuaternario: depósitos de aluvión, y del terciario: calizas, dolomías y yesos acompañados de arcillas y margas. Estos yesos se formaron a partir de la evaporación

⁴⁸ También en Morón de la Frontera (Sevilla), existen hornos tradicionales donde aún se fabrica bajo pedidos cal y yeso, aunque con bastante mayor demanda de cal.

de pequeños lagos someros en llanuras mareales, afectados por los movimientos tectónicos de la orogenia alpina y contaminada por fluidos ricos en sílice y magnesio. Los siglos XVI y XVII suponen una época de gran actividad constructora en la zona, utilizando la gran mayoría de las edificaciones, como materiales de construcción, la piedra y el yeso, colocándose de formas variadas, llamando la atención el revoco de yeso.

La fabricación se realiza desde entonces de modo artesano, con piedras locales, dando lugar a un producto de color rojo asalmonado, donde revocos y pinturas de cal se colocan sobre fábricas de mampostería tomadas y regularizadas con yeso. La construcción tradicional se realiza con entramados de madera cerrados con paños de plementería de yeso revestidas de yeso rojo. El uso de yeso en la fachada obliga a la existencia de grandes aleros para alejar el agua del paramento, así como la terminación de las cubiertas con teja árabe curva. Los revestimientos realizados con este material tienen un buen comportamiento para su puesta en obra y en su durabilidad, siendo un material adecuado para obras de restauración de paramentos de yeso (Sanz y Villanueva, 2004). Se comenzó esta recuperación con la fabricación en un horno de una sola boca y de pequeñas dimensiones que era recubierto en ocasiones con barro para evitar en lo posible las pérdidas de calor, siguiendo los modelos tradicionales (Sanz, 2009) (Fig. 11).

En la actualidad, el uso del yeso se restringe a su aplicación interior, a pesar de algunos intentos fallidos para su uso en exteriores⁴⁹, obteniéndose superficies lisas, compactas e impermeables en paredes y techos, pero además, hoy día, se le conoce bien la especial propiedad de proteger contra el fuego, entre otras.

⁴⁹ Se han producido intentos para lograr un yeso industrial de revocos al exterior, como el que se utilizaba tradicionalmente, pero sin éxito, ya que la dificultad estriba en saber exactamente la composición del yeso tradicional, como se ha indicado anteriormente, y con los análisis químicos no se distinguen bien todas sus características. En los años sesenta se intentó fabricar un yeso para restaurar las fachadas de París que no tuvo éxito, lo que llevó a concentrarse en una nueva generación de yesos para el interior (Luis de Villanueva 2004)



Figura 11. Horno de Albarracín (Teruel), recubierto de barro y a la espera de ser desmontado (Sanz, 2009)

Igualmente, debido al creciente interés por la recuperación de edificios que forman parte de nuestro patrimonio histórico, se van recuperando técnicas y oficios artesanales relacionados con el uso y aplicación del yeso.

2.1.2.- Preparación y oficio del Yeso artesanal. Aspectos históricos

El material es esencial en la configuración de los oficios. En zonas con abundancia de ciertos materiales florecen los oficios y las técnicas relacionadas con ellos, al alcanzarse las condiciones culturales necesarias (Villanueva, 2004). La albañilería precisa de un conglomerante apropiado para adherir piezas y recubrir paramentos. El yeso, posiblemente descubierto por casualidad⁵⁰, por su facilidad de preparación, fue el aspirante perfecto para lograr ese fin, convirtiéndose en uno de los primeros materiales artificiales, dado que precisa de hornos a mucha menor temperatura que la cal para su cocción, lo que también pudo ser un factor importante en lugares donde escaseaba la madera (Alejandre, 2000⁵¹).

⁵⁰ Cuando el hombre, tratando de hacer un horno sobre la piedra de yeso o aljez, comprobó que tras calcinarse el suelo y apagarse el fuego con agua, recuperaba su dureza primitiva (Diez 2004)

⁵¹ Graciani, A. et al. 2000, p. 240

El proceso de fabricación artesanal clásico de un yeso, parte de una explotación a cielo abierto, extrayéndose las rocas lo más limpias posibles, que a continuación se fragmentan para que pasen a un horno, en general situado en la ladera del monte, cargándose con piedras grandes y pequeñas sobre y alrededor de un hogar, alimentado con madera seca, ramas y jaras, desde el exterior, que hacía que el fuego estuviera en contacto con las piedras hasta calcinarlas. La pirámide del horno se iba calentando hasta que sus integrantes se deshicieran y pudieran ser molidos por caballerías y ruedas de molino. Tras la molienda, cernido y tamizado, el material había de ser almacenado lejos de la humedad (Lavado, 1986).

Los hornos de yeso se consideran construcciones auxiliares, que se sitúan cerca de caminos, preparándose junto a ellos explanadas para la molienda y preparación del material, entre las canteras y el pueblo, apoyados en laderas del terreno, para aprovechar la inercia térmica, controlar lo más posible el viento y contar ya con parte de los muros del horno realizado (el fondo y laterales del mismo tras una excavación y protección de la roca).

Primitivamente, toda la construcción del horno se realizaba con las propias piedras de yeso que se iban a cocer, formando una especie de bóveda con una abertura adintelada o abovedada para la entrada del combustible (Figs. 12 y 13). Esta cocción dura alrededor de un día y medio bajo una alimentación continua, para posteriormente esperar hasta su completo enfriamiento, el desmontado del horno y la molienda del material cocido. También puede haber una estructura de horno permanente, llamada hornazo (Sanz, 2009), realizada con piedras como las areniscas, que soportan bien las temperaturas de cocción, sobre las que se apoya y monta la bóveda. Los hornazos determinan una geometría previa de horno que puede ser cuadrada o redonda, donde sus dimensiones varían mucho dependiendo de la importancia del horno o de la ciudad en la que se encuentra. Además estos hornazos pueden tener una o varias bocas, así apareciendo descritos en algunos tratados, como el de Juanelo Turriano o la Enciclopedia de Diderot (Fig. 14).



Figura 12. Horno de yeso recién montado en Aguaviva (Teruel). Se observa la formación de una bóveda con piedras de yeso, apoyando sobre el terreno. Las piedras de mayor tamaño y de geometría más favorable para la construcción se colocan en la parte de debajo del horno y en el dintel. (Sanz, 2009).

Figura 13. Horno en Aguaviva (Teruel) en proceso de cocción. (Sanz, 2009)

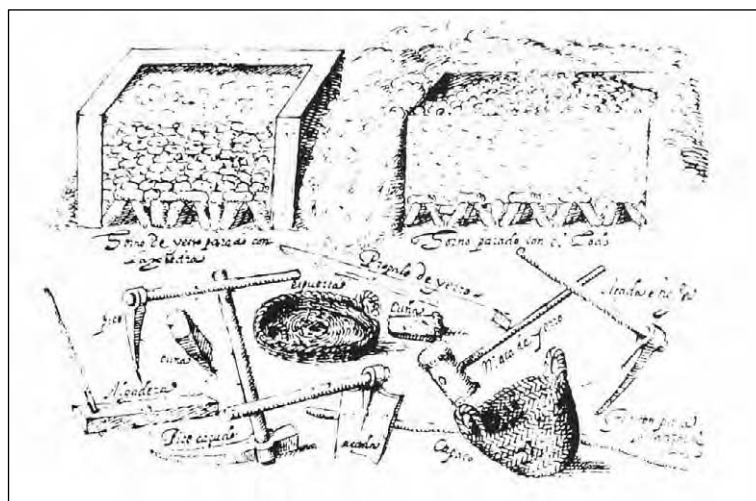


Figura 14. Horno de yeso y herramientas de yesero según Juanelo Turriano. *Veintiún libros de los ingenios y las máquinas*. Manuscrito de la Biblioteca Nacional. Imagen tomada de Pérez y Sanz (1996).

Según Gárate (1999): “los egipcios fueron los primeros en utilizar la escayola para unir bloques de la pirámide de Keops y cubrir su superficie con un estuco rojo, según se ha determinado recientemente, es del 2600 a.C.” Los egipcios cubrían con una ligera capa de estuco sus edificaciones y para rejuntar sillares utilizaban el yeso, igualmente lo empleaban para decorar sarcófagos,...

En los palacios cretenses de Cnossos, Festo, Malia y Zacro (2000-1475 a.C.), las fábricas que conformaban sus muros eran mamposterías tomadas con una gran carga de

pasta de arcilla fluida. En cuanto a su revestimiento, Ortega (1993) nos comenta que: “*en general, la obra de fábrica pétrea se revistió de pasta de yeso o de mortero de cal para protegerla y decorarla, y sólo la sillería más cuidada se dejaba vista, en un alarde de calidad*”. El mortero de cal se utilizó para el revestimiento exterior, siendo de yeso el interior (predecesor de los estucos), como material adecuado para recibir la decoración pintada.

Herodoto, será quien describa el empleo del yeso hidratado en agua, que se aplicaba sobre los cadáveres expuestos al sol, para más tarde poder colorearlos o pintarlos (enciclopedia Espasa Calpe. Tomo LXX pag.721).

Su uso arquitectónico se conoce desde el s. VII a.C., utilizándose como morteros helénicos, a base de cal y yeso, y áridos, en revestimientos y estucos para disimular el aspecto exterior de ciertas fábricas. Comprobándose además la incorporación de adiciones para hacer el mortero más duro y estable (Teba, 1995). En algunos monumentos de Grecia, se han encontrado baldosas de yeso (Marinatos, 1972), o pavimentos fechados en la Edad del Bronce.

El empleo de la técnica de estucos o revocos coloreados, fue un recurso para disimular el aspecto rudo de ciertos materiales como la toba y la caliza. Vitruvio (s. I a.C.) admira el enlucido griego, similar al mármol (en el palacio de Croesus), y el pulimentado de los enlucidos, como base de pinturas y frescos.

En época romana será la cal el material por excelencia, utilizándose el yeso como material auxiliar de albañilería. El Imperio Romano de Oriente, nos ha legado el reconocimiento de la profesión de yesaire en el edicto “Maximis pretus rerum venalius” del Emperador Diocleciano en el año 1301, fijando el salario de un yesaire en más de 50 denarios, salario similar al de artistas y especialistas.

Lévi Provençal, en los manuscritos hallados en bibliotecas privadas de Salé y Mequinez, nos describe como tratado de Ibn-Abdum de la Sevilla del siglo XII, la *hisba*⁵² musulmana, que en lo referente al yeso como material nos dice: “*El Yeso se venderá por medidas, y lo mismo la ceniza y la cal. El cahiz*⁵³ *de cal debe ser de 25 qadah, a causa de las piedras y desechos que contiene. La cal no se venderá sino cernida, lo mismo que el yeso y la ceniza. Tocante a las cargas de cal, conviene que se aumente la capacidad de*

⁵² Reglas de buen gobierno dirigidas a lo que hoy podrían ser Inspectores de consumo

⁵³ Antigua medida de capacidad de áridos

*los serones*⁵⁴, y que el comprador pueda cribarla, corriendo a cargo del calero el compensarle los desechos, pues ésta es ocasión de pérdidas y nadie más que el dueño sabe las piedras u otras cosas que contiene” (Traducción 84, pag.119).

En el tratado de Vitruvio⁵⁵, el yeso se cita de pasada, en el capítulo III del libro VII de su *“Tratado de Arquitectura”*, señala que *“una vez pulimentada la bóveda no se debe emplear yeso en ellas, sino que hay que hacerlas con pasta de cal y mármol pulverizado, por temor de que no se seque todo al mismo tiempo, debido a que el yeso fraguaría antes”*. Alberti⁵⁶ aporta más información sobre el yeso y sus variedades.

Un testimonio que nos deja constancia de su empleo, se refleja en las etimologías de San Isidoro de León, donde habla de los “plastiche” o representación en las paredes de figuras o imágenes modeladas en yeso y luego pintadas, este trabajo realizado en relieve con yeso, posteriormente se denominó yesería.

Desde el siglo XIII es frecuente encontrar referencias referidas a los materiales a emplear en construcción, así, un privilegio real concedido al Concejo de Murcia, en 1267, permitía a sus habitantes “que tagen e fagan taiar piedras de las pedreras quantas quisieren, e puedan fazer e mandar fazer cal y yeso quanto ovieren mester e pora labrar e fazer su pro dello. E tomen tierra quanta quisieren pora adriellos e pora tejas a pora tapiar”. Aquí se citan muchos de los materiales empleados por los alarifes y cuya minuciosa descripción nos hacen también los textos científicos de la época. Según el *Lapidario*, la piedra del yeso “cuando es molida y mezclada con alguna cosa, endurece luego y hácese piedra, por lo que meten los físicos mucho en las medicinas que son secantes; también es buena para labores de casas y de otras cosas porque las hacen con ella sutiles y muy buenas” (Cómez, 2001).

Según R. Lewcock (Michell et al., 1985), el yeso se prefería para estucos de gran precisión y cuidado acabado, mientras que la cal se reservaba para impermeabilizar tejados, canales y drenajes, y en lugares húmedos. La evolución de las composiciones y de las técnicas en el uso del yeso y la cal para la fabricación de estucos y morteros fue amplia, solo tenemos que pensar como ejemplo, en los primeros enlucidos de yeso de las primitivas casas rurales musulmanas y en los refinados trabajos de estuco de yeso en

⁵⁴ En árabe *safari*, plural de *sira* (sera) empleado como singular

⁵⁵ Marco Vitruvio Polión (en latín *Marcus Vitruvius Pollio*) fue un arquitecto, escritor, ingeniero y tratadista romano del siglo I a. C.

⁵⁶ León Battista Alberti, arquitecto, pintor, literato, escultor..(Génova 1404 – Roma 1472). Su tratado “De Re Aedificatoria” representa el primer Renacimiento

relieve, incrustado y en losas talladas de tantos monumentos islámicos andaluces (Fig. 15) (Alejandre, 2002).

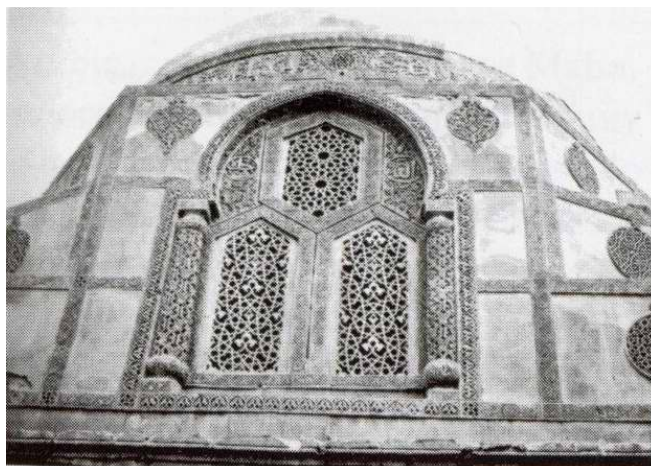


Figura 15. Celosía de yeso (Alejandre, 2002)

Cennino d'Andrea Cennini en su famoso *“Tratado de la pintura”* publicado en 1437, nos describe en el capítulo CXVI *“De cómo se prepara el yeso fino para enyesar las tablas”* diciendo: *“Ahora si quieres tener un yeso que llamamos fino, el cual es el mismo yeso, pero purgado durante dos meses, tenido en agua de modo que casi se corrompa y saque fuera todo su fuego y así se queda suave como una seda; hazlo así. Después se echa el agua por decantación y se hacen del yeso panes que se ponen a secar; y este es el yeso que los especieros nos venden a los pintores, y el que se usa para enyesar, para dorar, para hacer relieves y otras lindas cosas”* (García, 1988).

Dos aspectos distintos confluyen en los Alarifes: su función como técnico especializado de alta cualificación al servicio del común, y su autoridad y representación de los gremios de Carpinteros y Albañiles. Según se refleja en la documentación del siglo XVII⁵⁷, la definición más antigua de alarife está en relación con el significado etimológico de “maestro”. Por lo que puede haberse aplicado a cualquier artífice que hubiera alcanzado el grado de maestro, pero el hecho es que desde el siglo XIV, adquiere también un significado más específico, que alude a una especial dignidad y a unos cometidos concretos (Fernández, Ravé y Respaldiza, 1999).

⁵⁷ Toajas, 1989. Diego López de Arenas, carpintero, *Alarife y tratadista en la Sevilla del siglo XVII*, Pág. 32

Fray Lorenzo de San Nicolás⁵⁸ escribió el primer manual español que trata del yeso y sus mezclas apoyándose en los anteriores. Clasificó los yesos en tres variedades⁵⁹ y en lo referente al método de utilización, asimila las operaciones con el mismo a las de la cal, e insiste, como Vitruvio, en la necesidad de tres capas, siendo la primera de preparación de yeso negro⁶⁰ y las otras dos de yeso fino. Afirmaba que: *“En la forma de cocer el yeso va mucho en la experiencia, porque no todos los yesos han menester un mismo fuego, aunque he hallado autores que señalan el tiempo que ha de arder; más no es cierta la doctrina porque al paso que el yeso es más duro y apretado ha menester más fuego... Sólo advierto que el yeso no se detenga después de cocido sino lo menos que pudiere; y dilatado en el gastar se convierte en tierra; así que se gaste luego y se procure tener amontonado en la mayor cantidad que se pudiere que así se conserva más tiempo. Pero cuando se hubiera de dilatar el empleo, mejor será guardarlo en tinajas muy tapadas y mejor será si hubiera proporción cocer el yeso en la misma obra a medida que se necesitase”*.

Villanueva, arquitecto del siglo XVIII decía: *“la calcinación del yeso debería hacerse en la misma obra o en sus cercanías porque sobre ser mejor gastándolo recién calcinado hay la ventaja de poder cuidar que los manipulantes no le den demasiado fuego a fin de poderlo machacar mejor o no adulteren mezclando tierra, ceniza u otra cosa lo cual se conoce en que al tiempo de gastarlo tarda en tomar cuerpo y fortaleza”*.

Una de las primeras noticias sobre los hábiles yeseros sevillanos y su oficio, nos llega por el artículo de Guerrero Lovillo, J. (1955), sobre los Maestros yeseros del siglo XVI, donde este oficio, se ve englobado dentro del gremio de los albañiles, según un párrafo de las Ordenanzas de Sevilla, promulgadas por los Reyes católicos⁶¹, expresada en estos términos: *“Título de los Albañiles,...«Otrosí ordenamos y mandamos que el dicho maestro sepa labrar sus portadas de yesería de diversas maneras, así de romano, como de lazo, de talla enleñado con chapinetes, alminates, ataurique y todas las molduras que conviene»*, este mismo título ordena *“Que el maestro de la dicha arte sepa fazer las mezclas, según el edificio”* y *“labrar de la mano y plomo”*, así como casas, palacios, portales, todo género de arcos, pilares, escaleras, chimeneas, sabiendo trabar las paredes en obra de tapiería o albañilería, tejando, enlosando y encalando los edificios

⁵⁸ Fray Lorenzo de San Nicolás, Lorenzo Martín, Fraile Agustino y conocido arquitecto de la corte española durante el siglo XVII por sus tratados

⁵⁹ Negro, espejuelo y alabastro

⁶⁰ Yeso de granulometría gruesa

⁶¹ En la segunda parte de la Recopilación de las Ordenanzas de Sevilla, mandad hacer por los Reyes Católicos, después del último capítulo del *Libro del Peso de los alarifes* y encabezando las ordenanzas de los oficios mecánicos, aparecen separadamente las ordenanzas *De los Carpinteros* y el título correspondiente a las *De los Albañiles*

como conviene. Debe saber edificar una iglesia de tres naves, con sus pilares, arcos y capilla principal, cubierta de madera o bóveda de crucería...., y una “casa real” con sus portadas de yesería, mármoles y azulejos, para todo lo cual debía también tener conocimiento de cómo “sacar formas y cartabones” con objeto de que la obra estuviera perfectamente hecha⁶² (Cómez, 2001)

En un documento de 1590, se menciona la calle de los yeseros, citándose como próxima a las calles de la Compañía, Cerrajeros, Carpinteros y Dados⁶³, llamada luego de Acetres. Muy cerca de la calle Buiza y Mensaque, el gremio de los alarifes, había construido su hospital, bajo la advocación de San Andrés, en cuyo edificio, que hacía las veces de casa gremial se reunían sus miembros. Esta calle también se llamó del Hospital de los Yeseros, denominación que corrobora el sentido de las ordenanzas de la ciudad al considerar una sola las profesiones de albañil y yesero (Guerrero, 1955).

El yeso o aljez, es un término árabe que ha dado nombre a distintos lugares de la geografía española como Los Aljezares de Murcia, La Yesa en Valencia, Yesero en Huesca o Yesa en Navarra, lo que nos revela la extensión y aceptación de esta técnica.

Habitualmente, la palabra yeso, se asimila a revestimiento continuo como aplicación más general y reconocida. El hecho de su utilización desde época remota y en casi todas las civilizaciones, fundiéndose y confundiéndose muchas veces con la cal, hace muy difícil su estudio global, ya que aunque su función ha sido casi siempre protectora y estética y que los materiales básicos y su ejecución son similares, cada cultura les ha dado un tratamiento particular que las diferencia en algo del resto, además de que tradicionalmente han sido técnicas especializadas en manos de artesanos, muchas veces transmitidas de forma familiar⁶⁴, haciendo que existan múltiples variantes y técnicas de lo mismo, muchas de ellas perdidas a pesar del esfuerzo de tratadistas por recopilar y hacer que perduren éstas. Todo esto, ha llevado a una dispersión importante de la información existente, que resulta además confusa, por la falta de unanimidad tanto en el uso de los términos básicos como en la descripción de las técnicas⁶⁵.

⁶² Recopilación de las Ordenanzas...ff. 150-151. Cómez R. *Los Constructores de la España Medieval*, pág. 84

⁶³ Documentos para la Historia del Arte en Andalucía, publicados por el Laboratorio de Arte de la Universidad de Sevilla, Tomo I (1927), pág. 113

⁶⁴ De padres a hijos o de maestro a discípulo

⁶⁵ Con el estudio metódico de los conglomerantes a partir del desarrollo de la química, nadie puede confundir actualmente el yeso con la cal, en etapas artesanales anteriores esta diferenciación no era tan sencilla, además de por las mezclas que se producían, tanto en su origen como en los procesos de fabricación y puesta en obra

2.2.- Antecedentes Técnicos y científicos

2.2.1.- El material de yeso, su fabricación, propiedades y variedades artesanales

La materia prima

El yeso se originó hace 200 millones de años como resultado de depósitos marinos cuando parte de lo que ahora son nuestros continentes eran inmensas extensiones oceánicas. Durante este período algunos mares se secaron dejando lechos de yeso que se recubrieron para ser descubiertos posteriormente por el hombre.

Con la palabra yeso se designan en castellano varios productos diferentes. Por un lado la piedra natural, aljez o piedra de yeso, y por otra parte, el producto en polvo obtenido por calcinación y molienda de la piedra antes descrita, como material de construcción, compuesto por varias fases anhidras o hemihidratadas del sistema sulfato cálcico-agua y que, al amasarse tienen la propiedad de endurecer mediante un proceso físico-químico denominado fraguado. Una vez endurecido, el producto vuelve a transformarse en yeso, o sea sulfato cálcico dihidrato y por ello, algunos autores emplean el término rehidrato, para diferenciarlo del aljez, también sulfato cálcico dihidrato ($\text{SO}_4\text{Ca}2\text{H}_2\text{O}$). Es más soluble en agua que el yeso ordinario (unos 10 g por litro a temperatura ambiente) y tiene una densidad aproximada de 2,7. Constituye la base del yeso cocido que se emplea como mortero.

La materia prima para la fabricación del yeso y sus derivados, es casi exclusivamente la piedra de yeso o aljez en sus distintas variedades: como dihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), como semihidrato o basanita⁶⁶ ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$) y una anhidra o anhidrita (CaSO_4).

La piedra de yeso, aljez, roca yesosa o yeso crudo es una roca de origen sedimentario (*evaporita*), formada por evaporación de agua de las cuencas salinas, donde las sales disueltas en el agua salada, precipitan formando depósitos sedimentarios llamados evaporitas. El agua de mar contiene cerca de un 3,5% de sales disueltas, cuando el volumen de agua se reduce en un 20% precipita sulfato de calcio y cuando la salinidad crece, se precipita anhidrita (CaSO_4). Si la temperatura sobrepasa los 34°C se deposita

⁶⁶ Como mineral natural es muy raro y suele aparecer como alteración de otros minerales. Se ha comprobado su existencia en cavidades de leucita en bloques nefríticos del Vesubio. También se ha hallado en Indiana y Nueva Escocia asociado con yeso o anhidrita, así como en suelos áridos de Australia (Chang, Howie y Zussman, 1996)

anhidrita sin un anterior depósito de yeso (Diez, 2004) y en condiciones apropiadas se forman capas de yeso y anhidrita.

Es un mineral abundante en la corteza terrestre, que se presenta bajo diversas formas y aspectos donde aparece formando capas delgadas, muchas veces intercalado con calizas y pizarra, bajo los depósitos de sal. Está asociada a la dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), a las piritas (S_2Fe) y al cuarzo (SiO_2), presentándose en la naturaleza en dos formas cristalinas, siendo la más común, la que cristaliza en el sistema monoclínico⁶⁷. Puede contener impurezas, tales como: carbonato de calcio, arcilla, betún, óxidos, etc. que pueden conferirle distintas tonalidades. Estas impurezas deben eliminarse cuando se quiere obtener un producto fino, y solo la arcilla, la arena y el carbonato de calcio pueden tolerarse en pequeñas cantidades en la fabricación del yeso grueso, empleado en construcción. En algunos yacimientos puede ir acompañado de pequeñas cantidades de anhidrita soluble, que para los procesos de fabricación se puede considerar como impureza.

Los distintos depósitos de aljez y de anhidrita natural difieren en dureza, estructura y color, siendo las mayores impurezas que se encuentran en ellos, el carbonato cálcico (piedra caliza), dolomita, margas y arcillas; menos frecuentes son la sílice, el betún, la glauberita, la singenita y la paliholita. Cuando estas impurezas están presentes en el aljez y en la anhidrita natural desde su formación, se denominan “impurezas primarias”.

Se establece una distinción entre los depósitos de carbonatos-sulfatos, localizados principalmente en el perniano alto, de los depósitos de arcilla-sulfatos, predominantes en el triásico. Las impurezas secundarias se forman mediante el contacto con materiales incrustados en las grietas y en las cavidades de la roca, pero también pueden aparecer como material de deshecho durante la extracción. El aljez es soluble en agua, y por ello la piedra de aljez es lixiviada por el agua de la superficie (Wirsching, 1996).

El aljez puede ser de color blanco puro y cuando contiene óxido de hierro, puede variar desde un rojizo a un amarillento. Si la arcilla y/o el betún están presentes, puede variar del gris al negro.

La composición estequiométrica, expresada como óxidos, se recoge en la Tabla 1.

⁶⁷ Ver parámetros de red, Schofield et al 1996. Un grupo espacial se determina a partir de los parámetros fundamentales de la celda unidad, para ello hay que definir la geometría de la celda unidad desde la simetría cristalográfica, que para el yeso son seis unidades de celdas distintas.

Tabla 1. Valores estequiométricos del yeso dihidrato

Fase mineral	SO ₃ (%)	CaO (%)	H ₂ O (%)
Yeso	32,57	46,50	20,93

Según los tratados de mineralogía, la piedra de yeso o Aljez (Fig. 16), es un sulfato de calcio que cristaliza con dos moléculas de agua. Se halla en forma de rocas más o menos compactas en capas gruesas y es un mineral blanco y fácilmente desmenuzable, poco soluble en agua, alcanzando su mayor solubilidad a los 40°.

Sus principales características son las siguientes:

Peso molecular: 172,18

Contenido en agua: 20,93%

Densidad: 2,3-2,4 g/ml

Dureza: 1,5-2 en la escala de Mohs (se raya con la uña)

Solubilidad en agua: 2,23 g/l, a 20°C y 2,57 g/l, 50°C

Color: Blanco, incoloro o coloreado cuando posee impurezas

Sistema de cristalización: monoclinico



Figura 16. Imagen del Aljez (Wikipedia.org. yeso)

El yeso cristaliza en forma de cristales de forma prismática con distintas estructuras, provocando que esta variedad, se presente en la naturaleza bajo diversas formas:

1.- Yeso espejuelo, espático o laminar (selenita): Cristaliza en grandes cristales planos que pueden exfoliarse fácilmente en hojas o láminas delgadas, empleándose para fabricar yeso cocido y escayola

2.- Yeso sacarino o alabastro: De estructura muy compacta, grano fino y color blanco, algo transparente y brillante, utilizándose en decoración y escultura

3.- Yeso fibroso: Material muy puro, formado por fibras cristalinas que dan aspecto sedoso. Se emplea algunas veces para obtener escayola

4.- Yeso calizo u ordinario: Es la variedad más común, de forma muy compacta y sin señales aparentes de cristalización. A veces aparece en forma terrosa o en laminillas aisladas, pudiendo contener carbonato de calcio como mineral minoritario. Es la piedra más usada para fabricar el yeso común

5.- Otras variedades son: Rosa del desierto, yeso de nieve, yeso sedoso, etc.

Juan de Villanueva (1820) dice: *“La piedra de yeso está cristalizada en diferentes figuras y aspecto interior y exterior, pero en cuanto a sus propiedades toda es una, con la diferencia de ser más o menos limpia o más o menos fuerte”*

Otra variedad cristalina es la Anhidrita o sulfato de calcio anhidro (sin agua), constituida por cloruros y sulfatos de calcio, magnesio y potasio, abundantes en la naturaleza, formada por evaporación del agua del mar, en las eras secundaria y terciaria, que cristaliza en el sistema ortorrómbico⁶⁸.

La anhidrita (Fig. 17) se distingue de la calcita o carbonato cálcico por su mayor peso específico, y del yeso monoclínico por su dureza, apareciendo en yacimientos de la misma forma que el yeso aunque en menor abundancia. Es una roca compacta que se encuentra en capas finas en los yacimientos de sal gema y en grandes masas rocosas (Novo, 1970).

La anhidrita natural muy pura es de un color blanco azulado, aunque usualmente es gris con un matiz azul. Las vetas blancas que a veces se encuentran en la frontera entre el aljez y la anhidrita natural son principalmente de glauberita ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{Na}_2 \text{SO}_4$) o sal de Glauber ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$).

⁶⁸ El poliedro de coordinación del calcio es un dodecaedro triangular distorsionado, donde cada poliedro de calcio tiene vértices comunes con cuatro tetraedros de sulfato, compartiendo ejes con dos o más de estos (Chang, Howie y Zussman, 1996).



Figura 17. Imagen de la anhidrita
(Wikipedia.org. yeso)

La composición estequiométrica, expresada como óxidos, se recoge en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores estequiométricos del yeso anhidro

Fase mineral	SO ₃ (%)	CaO (%)	H ₂ O (%)
Anhidrita	58,80	41,20	0

Sus características principales son:

Peso molecular: 136,18

Densidad: 2,8-2,9 g/ml

Dureza: 3-3,5 en la escala de Mohs

Color: Blanco o coloreado cuando contiene impurezas y incoloro en estado puro

Sistema de cristalización: rómbico

El agua lo endurece con mucha lentitud y se emplea tal y como se obtiene de la cantera para la construcción, en muros y paredes.

La materia prima en España

La superficie de los depósitos yesíferos en España es de unos 35.500 Km²⁽⁶⁹⁾, constituyendo el 7,2% de la superficie total, aunque la total de estos estratos ocupa cerca del 58% de la superficie del país.

⁶⁹ Medidos a partir de la cartografía escala 1:500.000 de terrenos yesíferos del Servicio Geológico de Obras Públicas (Riba y Macau, 1962)

Existe una gran diferencia referente a los yacimientos yesíferos entre la parte oriental y occidental de España, debido al distinto desarrollo geológico en ambas partes y a la diferencia en la composición geológica del subsuelo de nuestra península.

Tras el plegamiento Herciniano⁷⁰ la parte occidental de la península quedó emergida, creando la parte oriental un ámbito donde formarse mares expirantes y en consecuencia depósitos salinos, dando lugar a la formación de depósitos de yeso y de anhidrita. Según estudios del Instituto Geológico y Minero de España, la superficie que ocupan los horizontes yesíferos se reparten entre el Triásico, y sobre todo entre el Oligoceno y el Mioceno⁷¹.

Las primeras formaciones yesíferas en España son del Triásico, presentando unos tonos rojizos muy característicos, con dos tipos de sedimentación, una de predominio continental que va desde Gerona a Huelva y desde Asturias a Albacete, y otra de carácter marino en las Béticas donde es menos abundante (Riba y Macau, 1962). Durante el Terciario la sedimentación de yesos se produjo por la evaporación de las aguas salobres que ocupaban el fondo de las depresiones, dando lugar a lagunas con láminas de agua de poco espesor, sin aliviadero al mar y bajo un clima bastante árido. Las formaciones del Mioceno corresponden a las cuencas neógenas de la zona mediterránea de la Península Ibérica, como la cuenca del Penedés. También en el Tortoniense y en el Messiniense de las cuencas Béticas, aparecen yesos selenitosos de gran tamaño que se explotan en cuencas de Almería, Murcia y Alicante (Ortí, Rosell y Salvany, 1992).

Con respecto a las evaporitas continentales, en España hay tres grandes cuencas sedimentarias que alojan importantes formaciones de yeso: la depresión del Ebro, la cuenca del Duero y la del Tajo, además de algunas cuencas secundarias como la de Calatayud-Teruel, la de Granada o la de Valencia (Sanz, 2009).

A continuación se muestra un mapa de Riba y Macau, adaptado por Sanz Arauz, donde se muestran todos los terrenos yesíferos de la Península Ibérica y baleares (Fig. 18).

⁷⁰ Se produjo a finales del Paleozoico, plegándose los materiales depositados en los profundos mares que cubrían gran parte de la futura Península y que constituirían el núcleo fundamental de la Meseta.

⁷¹ Oligoceno: Hace 35,4 y 23,3 millones de años. Mioceno: Hace 23,3 y 5,2 millones de años



Figura 18. Mapa de los terrenos yesíferos de la Península Ibérica y Baleares, adaptado por Sanz Arauz del mapa original de Riba y Macau (1962).

El sistema Sulfato de calcio-agua. Acción del calor sobre la piedra de yeso

Por elevación de temperatura en el horno, el yeso cede el agua de cristalización que posee en diversas fases. En una primera, sobre los 120 °C, el dihidrato se transforma en semihidrato, en una segunda, sobre los 180 °C, el hemidrato pasa a anhidrita soluble (anhidrita III) (García, 1988-89).

Esquemáticamente, este sería el proceso de cocción para la obtención del yeso artesanal en sus dos variedades, pero no cabe duda de que si la cantidad de energía es menor o mayor en distintas zonas del horno, pueden aparecer formas estructurales distintas, según los diferentes grados de cocción. Así el aljez o piedra de yeso que está en la parte inferior y cerca del horno estará sobrecocido, mientras que la de la zona superior puede estar incocida.

Precisamente, tradicional y artesanalmente se obtenían tres tipos de yesos. Las piedras mas cocidas, de aspecto más oscuro se reservaban para el yeso de pavimentos o yeso hidráulico. Las piedras que ofrecían mejor aspecto se molían finamente dando lugar al yeso blanco, utilizado para enlucidos. El resto se trituraba junto con la escoria obteniéndose el yeso negro utilizado para guarnecidos y como mortero auxiliar de albañilería (Villanueva, 2004)

Como se ha visto anteriormente la relación entre las moléculas de CaSO_4 y H_2O , presenta distintas fases cristalinas en función de la cantidad de moléculas de agua en su estructura interna (dihidrato, semihidrato, anhidrita, etc.)⁷². Cuando el dihidrato (piedra de yeso o Aljez) se somete a la acción del calor entre los 120 °C y los 1350 °C, se producen una serie de transformaciones que originan distintas fases y estados alotrópicos de interés técnico. Un esquema muy simple podría ser el siguiente (Fig. 19):

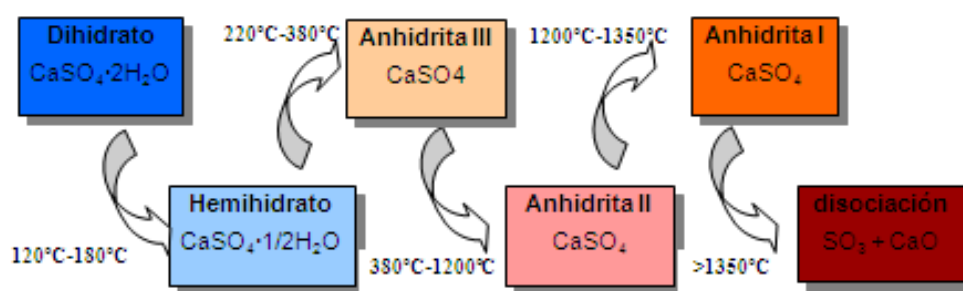
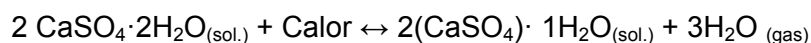


Figura 19. Fases de la acción del calor sobre el Aljez

A los 120 °C-180 °C se obtiene el semihidrato a partir del dihidrato, que cristaliza en el sistema hexagonal, según la siguiente ecuación:



El semihidrato obtenido puede presentar según las condiciones en las que se produzca la reacción, dos variedades alotrópicas (α y β) con propiedades diferentes, que quedan recogidas en la Tabla 3:

Tabla 3. Propiedades de los semihidratos α y β (Tomado de Arredondo, 1969)

PROPIEDADES	SEMIHIDRATO	
	α	β
Condiciones de obtención	Presión parcial de vapor de agua sobre el yeso de 1 atmósfera o superior/autoclave, disolución salina	Ausencia de vapor de agua o por arrastre de los gases por el tiro forzado en el proceso industrial
Aspecto	Compacto, sedoso brillante, cristales aciculares mezclados entre sí	Esponjoso, apenas se pueden reconocer caracteres cristalinos
Densidad	2,75 g/ml	2,63 g/ml
Ppio. de Fraguado	15-20 minutos	25-35 minutos
Resistencia media a la compresión	560 Kg/cm ²	56 Kg/cm ²

⁷² Las moléculas de sulfato de calcio y agua se encuentran unidas por enlaces secundarios de origen electrostático, debido al comportamiento dipolar de ambas moléculas. La acción dipolar de las moléculas de agua va a afectar a la solubilidad en agua de las distintas fases, siendo similar en la anhidrita y el semihidrato e inferior al dihidrato (García Santos, 1988)

Hay que tener en cuenta que, cuando el vapor de agua es arrastrado por la corriente de gases, se forma directamente anhidrita III a partir del dihidrato, pero ésta pasa a semihidrato β o semihidrato inmediatamente al contacto con el aire húmedo. Así, en el interior de los granos, de tamaño relativamente grueso, puede existir suficiente presión parcial de vapor de agua en la deshidratación para que se produzca directamente el semihidrato β .

El semihidrato β es el componente básico del yeso de construcción, aunque determinados tipos de yeso pueden contener ciertos porcentajes del semihidrato α .

El semihidrato α se obtiene a partir del dihidrato con una presión parcial de vapor de agua elevada; por ejemplo, por encima de 45 °C en soluciones ácidas o salinas, o por encima de 97,2 °C en agua bajo presión. Una eliminación cuidadosa del agua a 50 °C en vacío, o a 100 °C a presión atmosférica, produce anhidrita III β (Wirsching, 1996).

Gomá (1979), nos indica que a temperaturas comprendidas entre 280 °C y 380°C se obtiene anhidrita III⁷³ o anhidrita soluble por deshidratación completa del semihidrato, que cristaliza en el sistema hexagonal. Esta fase presenta también las variedades alotrópicas A III α , A III β y A III β' (procedentes de los correspondientes semihidratos)⁷⁴, siendo un producto inestable que absorbe el agua del ambiente con avidez para transformarse en semihidrato. Ésta, mezclada con agua, produce un fraguado muy rápido, de forma que su presencia en los yesos recién obtenidos da lugar a la variación en sus tiempos de fraguado, requiriéndose el reposo del material obtenido en silos para conseguir una calidad homogénea y si existe en grandes cantidades puede ser incluso preciso recurrir a la adición de productos retardantes. La anhidrita III presenta dificultades para ser preparada de forma pura porque por encima de los 100 °C, empieza a formarse anhidrita II y entonces la anhidrita III reacciona inmediatamente con el vapor de agua para formar semihidrato (Wirsching, 1996).

El semihidrato y la anhidrita III son metaestables, por debajo de 40° C en presencia de agua o de vapor de agua se convierten en dihidrato.

Igualmente, de 380°C a 1180°C se obtiene la anhidrita II⁷⁵, que cristaliza en el sistema ortorrómbico, fase que existe en la naturaleza y también es obtenida por la calcinación

⁷³ Según Wirsching, a partir de los 100°C

⁷⁴ Aunque nos hemos referido a dos variedades alotrópicas al hablar del hemihidrato, en realidad son tres, aunque esta tercera variedad A III β' procedente del hemihidrato β' se forma sólo en atmósfera seca, mientras que las otras dos lo hacen en aire, siendo éstas últimas las que nos interesan

⁷⁵ Según Wirsching, a partir de los 200°C

del dihidrato y de una anhidrita III a altas temperaturas, insoluble o sobrecocida, reacciona muy lentamente con el agua, siendo necesario para su fraguado el empleo de aceleradores.

Por tanto, la presencia de anhidrita III y II, sobre todo esta última, van a producir mejoras sobre la calidad de determinados tipos de yeso, por lo que es bastante seguro que se puedan encontrar entre los constituyentes de muchos yesos artesanales.

Se obtienen también tres tipos de anhidrita II calcinada, dependiendo de la temperatura de cocción y del tiempo:

La A II-s o anhidrita ligeramente soluble, producida entre los 300 °C y 500 °C

La A II-u o anhidrita insoluble, producida entre los 500 °C y 700 °C

La A II-E o anhidrita disociada parcialmente, producida por encima de los 700 °C

La diferencia entre estos productos radica en el tiempo de rehidratación con agua, que para la A II-s es rápido, lento para la A II-u y en un término medio para la A II-E, siendo posible la transición entre estos diferentes estadios de reacción.

A temperaturas comprendidas entre 1180°C y 1350°C se forma la anhidrita I, de simetría ortorrómbica, fase no estable a temperatura ambiente que se transforma en anhidrita II cuando se produce un enfriamiento por debajo de los 1200°C. Esta anhidrita I tiene la capacidad de fraguar en el aire, en función del contenido de óxido de calcio procedente de la calcinación de las impurezas de CaCO_3 que tenga el yeso. El CaO se transforma en hidróxido de calcio, que actúa como acelerante del fraguado. También se denomina a este yeso como hidráulico, porque es capaz de fraguar debajo del agua (Gomá, 1979).

A temperaturas superiores a 1350°C se produce la disociación térmica, con la que se forma CaO (sólido) y SO_3 (gas) a partir del CaSO_4 .

Por debajo de los 40°C, y en condiciones atmosféricas normales, sólo es estable el sulfato cálcico dihidratado. El semihidrato y la anhidrita III son metaestables, y por debajo de los 40°C, en presencia de agua o vapor de agua se convierten en dihidrato; lo mismo ocurre con la anhidrita II, aunque de todas formas, entre los 40°C y 1180°C, la anhidrita es estable.

Así, a diferencia de la cal, que con un sistema de cocción similar, precisa generar y mantener durante días temperaturas cercanas a 1000°C, el yeso, se produce con un

menor aporte de energía y tiempo de cocción para su obtención, aunque los productos obtenidos, poseen propiedades muy diferentes.

Los tipos comerciales de yeso en la actualidad pueden ser bastantes más, en función de la temperatura de cocción y del grado de pureza de las rocas empleadas.

Fabricación del yeso

Una vez conocidas las transformaciones físico-químicas que sufre el aljez por efecto de la temperatura y las diferentes fases formadas, se describe brevemente el proceso productivo del yeso cocido a escala industrial, una vez visto el sistema artesanal ya descrito.

La fabricación de este conglomerante comprende las etapas que se describen a continuación.

1. Extracción de la materia prima

El aljez natural o piedra de yeso se extrae de canteras a cielo abierto y subterráneo, realizándose principalmente la extracción mediante perforación y voladura. Normalmente, el mineral aflora hasta la superficie, pudiéndose encontrar hasta profundidades de 20 metros. Esta condición de superficialidad es necesaria para no encarecer la producción. Los medios de extracción pueden variar desde los manuales, mediante cuñas, palancas, picos, etc., para pequeñas explotaciones, hasta la maquinaria pesada que se complementa con la utilización de explosiones controladas, generando una gran variedad de tamaños de roca. Extraído el mineral, se transporta a la fábrica y se almacena.

2. Trituración

Durante este proceso, las piedras procedentes de la cantera se reducen a trozos más pequeños de tamaño variable según el sistema de deshidratación que se vaya a seguir. Las máquinas trituradoras más usuales son los molinos de mandíbulas, molinos de impactos, machacadoras cónicas y trituradoras de rodillos estriados, reduciéndose los trozos hasta un tamaño máximo de 20 mm. La homogeneización del tamaño del mineral de yeso permite una mayor regularidad en el proceso industrial de elaboración.

3. Cocción o deshidratación

La transformación de la piedra de yeso en el yeso para la construcción, ya sea sulfato cálcico semihidrato o anhidro, es un proceso de transformación energético, por el que por efecto de la cocción, pierde las moléculas de agua. Los productos así obtenidos, fraguan por adición de agua regenerando el dihidrato, debiendo el yeso a este fenómeno su carácter de aglomerante para la construcción. Los distintos tipos de hornos utilizados pueden clasificarse del siguiente modo (Arredondo, 1969):

Hornos en contacto directo con los gases de combustión

La característica principal de este tipo de hornos es que los gases procedentes de la combustión, que transmiten la energía térmica, están en contacto directo con el mineral de yeso. Este hecho provoca que la cocción tenga lugar en una atmósfera seca, o al menos, no saturada de vapor de agua. Existen diversos tipos:

Hornos rudimentarios: Son hornos rústicos o artesanales, de escasa importancia en producción, que tienden a desaparecer en nuestros días (salvo Albarracín en Teruel y algo en Morón de la Frontera en Sevilla). Su construcción es muy sencilla, como se ha visto en apartados anteriores (muy similares también a los empleados en la fabricación de la cal viva artesanal), realizándose muchas veces aprovechando las laderas de los montes, en las que se fabrican unos muros que constituyen las paredes del horno, llenándose el interior con piedras de diferentes tamaños formando una bóveda en su parte inferior, bajo la cual se sitúa el hogar. El combustible utilizado consiste en ramas secas, jara, leña, etc.

Hornos de cuba: Están contruidos con paredes de material refractario, son de forma cilíndrica y de unos 5 m de altura. La carga se realiza por la parte superior, y está formada por capas alternas de piedra de yeso de unos 10 a 20 cm de diámetro y carbón. Existen otros modelos mejorados de este tipo de horno en los que existe un hogar (donde el combustible no está en contacto directo con el aljez) y su descarga es automática. Estos hornos suponen una mejora de los rudimentarios, pero a pesar de ello no se consigue con exactitud el control de la temperatura, además de utilizar fragmentos de yeso bastante grandes, por lo que no proporciona un producto homogéneo.

Hornos de colmena: Son un tipo de hornos empleados en los EE.UU. para la fabricación de yeso Keene o yeso alumbrico⁷⁶ de fraguado lento y gran dureza superficial, obtenido por calcinación a unos 1000 °C durante 3 a 5 días del semihidrato que ha sido sumergido previamente en un baño saturado de alumbre. Estos hornos tienen una base circular de 6 a 9 m de diámetro, cubierta por una especie de cúpula de unos 3,5-5 m de altura. Disponen de una serie de hogares laterales que funcionan independientemente y unos conductos por donde circulan los gases calientes que se hacen pasar a través de la masa de yeso.

Hornos rotatorios (hasta 600 t/día): Son un perfeccionamiento de los sistemas anteriores debido a la agitación constante a que se somete la masa durante la cocción. Se trata de un horno de forma cilíndrica de 10 a 50 m de largo y de 0,90 a 2,5 m de diámetro, de eje horizontal ligeramente inclinado para facilitar la descarga del yeso. Su interior está revestido de material refractario y posee unas paletas mecánicas en forma de cucharas que facilitan la agitación, a su vez, el cilindro exterior, descansa sobre unos apoyos con rodamientos que permiten el giro del mismo. Los gases de combustión proceden de un hogar exterior, y son impulsados por medio de un ventilador al interior del horno en sentido ascendente, es decir, contrarios al desplazamiento del yeso. La piedra de yeso debe triturarse homogéneamente hasta un tamaño aproximado de 3 cm de diámetro (evitando el material muy fino), cociéndose mientras atraviesa el horno. Posteriormente se descarga en un enfriador a una temperatura comprendida entre 160 °C y 195 °C. El tiempo de permanencia de la piedra de aljez en el horno está autorregulado. Este se incrementa con el tamaño de partícula, aunque se puede conseguir una calcinación completa sin que influya el tamaño de las partículas, obteniéndose un semihidrato β de calidad uniforme y propiedades homogéneas, tras su molido. El crudo no deshidratado es recogido en el silo de almacenamiento y añadido en pequeñas cantidades al yeso calcinado. Las plantas de hornos rotatorios están totalmente automatizadas y pueden ser controladas generalmente por un solo operario.

Sin contacto directo con los gases de combustión

La característica principal de este tipo de hornos es que los gases procedentes de la combustión, que transmiten la energía térmica, no están en contacto directo con el mineral de yeso. Este hecho provoca que la cocción tenga lugar en una atmósfera

⁷⁶ Se obtiene a partir del semihidrato sumergiéndolo durante 6 h en una disolución de alumbre al 12% y a 35°; El alumbre es un sulfato doble compuesto por el sulfato de un metal trivalente

constituida por vapor de agua a una mayor o menor presión, generando un producto con un elevado contenido en semihidrato, con cantidades variables de la fase α .

Hornos de panadero: Es utilizado en algunas fábricas para producciones reducidas de yesos especiales (escayolas y yesos de moldeo). Tienen un rendimiento térmico elevado y su configuración permite quemar cualquier tipo de combustible. Su inconveniente es que requiere mucha mano de obra, lo que eleva los costes.

*Autoclaves*⁷⁷: Son aparatos en forma de vasija cilíndrica, de paredes resistentes y con cubierta cerrada y atornillada herméticamente, lo que le permite trabajar con vapor de agua a presión superior a la atmósfera. En estas condiciones se obtiene un excelente yeso cocido, formado casi en su totalidad por semihidrato α .

En las centrales modernas se combina la molienda con el presecado. Este proceso se lleva a cabo en unidades de secado-molienda, obteniéndose partículas de tamaño inferior a 0,2 mm (se pueden utilizar diversos tipos de molinos). El sistema se mejoró en los años 60 en Gran Bretaña (British Plaster Board LTD) y América del Norte, donde el aljez presecado y finamente molido, alimentado de forma continua por la parte superior, al deshidratarse, el crudo queda en el fondo en forma de lecho fluido, depositándose al calcinarse en el fondo de la marmita, de donde es descargado continuamente a través de una boca conectada a un lado de la misma. Su balance térmico no es tan bueno como para el horno rotatorio de fuego directo, pero los gases residuales contienen menos finos. En estas plantas mejoradas se pueden obtener hasta 300 t/día de semihidrato β (Wirsching, 1996).

Existen otros tipos de hornos para la obtención de hemidrato α , aunque considerados de poco rendimiento térmico y costosos de operar y mantener, como es la caldera, u otros (mezcla de los rotatorios y las calderas), teniendo en cuenta, además, que se trata de una variedad de semihidrato que no se utiliza para la construcción.

4. Molienda

Una vez enfriado el yeso cocido en cámaras o silos de reposo o enfriamiento, se procede al molido, con el que se obtiene la finura deseada para el producto terminado. Esta operación hay que realizarla aunque el sistema de cocción utilizado implique la

⁷⁷ Esta fabricación fue desarrollada en Alemania por Giuliani en 1962 y en Japón por Nitto Gypsum en 1970 (Wirsching, 1996)

molienda previa del material. Se realiza en molinos de martillos o de bolas (Fig. 20), combinados con cribas que aseguran una granulometría adecuada para su aplicación. Existen métodos más modernos que utilizan molinos con separadores de aire, combinados con un disco giratorio que separa el producto por fuerza centrífuga según su tamaño.



Figura 20. Molino de bolas de la fábrica de Cementos Valderribas en Alcalá de Guadaira (Sevilla)

5. Aditivación

Las propiedades básicas del yeso se modifican y mejoran mediante el empleo de aditivos y adiciones (aceleradores de fraguado, retardadores, aligeradores, endurecedores, etc.) que permiten obtener productos con nuevas características. Este proceso se realiza después del molido, siendo la forma más moderna y eficaz de añadirlo mediante el empleo de plantas de aditivación automatizadas.

6. Ensacado

Realizada la dosificación de aditivos, el yeso se almacena en silos elevados que se encuentran protegidos por la humedad. Desde estos silos, se procede al envasado del yeso en sacos de papel Kraft muy resistente, con diferentes códigos y marcados que identifican el producto. También se puede comercializar el producto a granel y mediante el empleo de camiones cisterna se transporta directamente a obra, donde se almacena en silos.

Propiedades del yeso

En lo referente a las propiedades físico-químicas de los yesos son de destacar:

1.- El fraguado

Proceso físico-químico mediante el cual se produce una transformación en la masa de yeso-agua desde un estado plástico a otro sólido, destacando que el material sólido formado inicialmente no tiene las máximas resistencias mecánicas sino que las adquiere mediante el proceso de endurecimiento. Durante este proceso, se produce una reacción exotérmica en la que la hidratación del 95% del yeso tiene lugar en unos 30 minutos y se completa en menos de dos horas. En el caso concreto del yeso, el fraguado ocurre bajo la siguiente reacción química:

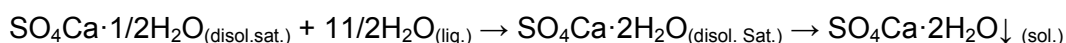


Existen tres teorías para explicar el proceso físico-químico del fraguado.

- a) La Teoría del Estado Coloidal. Esta teoría, defendida por algunos autores como Cavazzi y más tarde Baykoff (Wirsching, 1996), admite que el fraguado del yeso consiste en un proceso coloidal, a partir del cual por coagulación o floculación se forma un gel intermedio, desde el cual se desarrollan los cristales aciculares del yeso. Investigaciones sobre el “gel de yeso” mediante DRX para el estudio de las fases cristalinas, demuestran que no existe ningún tipo de gel ni en el fraguado ni en el endurecimiento, al no obtener desde el primer instante líneas de difracción difusas o con menor agudeza o intensidad (Gomá, 1979). Para la anhidrita II, que tiene una solubilidad menor, sobre todo en algunos cristales de gran tamaño y poca rugosidad superficial, el modelo coloidal, con gran influencia de la morfología preexistente es seguido por algunos grupos actuales como Sievert, Wolter y Singh, 2005 (Sanz, 2009).
- b) La teoría de Le Chatelier o de Cristalización en equilibrio a través de la disolución, por la que al amasar el yeso con agua se forma alrededor de sus partículas, una solución saturada respecto al semihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) y sobresaturada con respecto al dihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), formado por hidratación del semidrato, más estable y menos soluble, iniciándose así una rápida cristalización del yeso, generalmente, a partir de núcleos de dihidrato sin cocer. Se disuelven entonces

nuevas cantidades de semidrato, continuando el proceso hasta su hidratación y cristalización total en forma de dihidrato. La reacción química sería exotérmica, produciéndose el 95% de la hidratación en 30 minutos y completándose en dos horas.

El dihidrato formado, de menor solubilidad que el semihidrato, cristalizaría a partir de una disolución sobresaturada del mismo, bien espontáneamente, o lo que es más probable, a partir de núcleos de dihidrato que han permanecido sin alteración durante el proceso de cocción. La reacción continúa hasta la completa hidratación del semihidrato por el desplazamiento a la derecha al precipitar el dihidrato (Gomá, 1979).



En realidad, la disolución continua de nuevas cantidades de yeso cocido compensa el empobrecimiento de la disolución causada por la separación, también continua, de cristales de dihidrato. Los cristales se desarrollan en puntos contiguos, dando lugar a agrupaciones radiales, donde la interposición de éstas, en forma de fieltro, es una causa de la resistencia de la masa fraguada (García, 1988).

El sulfato de calcio semihidrato en presencia de agua, forma una solución saturada aproximadamente a 8 g/l., a 20°C. Hoy día se sabe que esta solución estaría sobresaturada porque a 20 °C, la solubilidad del sulfato de calcio dihidrato es de solo 2 g/l., precipitándose por tanto el sulfato de calcio dihidrato (Wirsching, 1996).

- c) La teoría de la Cristalización sin paso previo a la disolución, según la cual dicha cristalización se produce por la transformación directa por hidratación de los cristales de semihidrato en cristales de dihidrato. Esta teoría es conocida también como transformación interna o topoquímica, donde se ha podido determinar la velocidad con la que avanza la hidratación hacia el interior del núcleo del grano, comprobándose que es lineal y de valor 1 µm/min. Esta hidratación interna de las partículas de semihidrato se manifiesta solo en distancias cortas.

La realidad del proceso de hidratación, probablemente implica a los dos últimos procesos, pudiendo tener lugar independientemente el uno del otro, y por tanto no contradictorios.

La transformación topoquímica explica como los yesos con granos más vastos y compactos (semihidrato α) dan lugar a estructuras con mayor dureza, frente al semihidrato β , más esponjoso y poroso, lo que genera estructuras más débiles. La cristalización a través de la disolución, permite explicar la dilatación en el tiempo de fraguado por el aumento de la temperatura, ya que aumenta la solubilidad del dihidrato y disminuye la del semihidrato, así como por la acción de los retardantes y acelerantes, por modificación de la solubilidad del semihidrato.

Según Wirsching, la mezcla y humectación del semihidrato en polvo provoca la desintegración de las partículas del semihidrato seguida por un corto período de inducción, tras el cual, el núcleo empieza a formarse a partir de la solución sobresaturada. La acumulación de cristales del dihidrato muy pequeños con mucho exceso de agua ha sido descrita por Kronert y otros como un agrupamiento, por lo que tras esta nucleación, comienza el crecimiento del cristal acompañado, al menos en las etapas iniciales, de continuas recristalizaciones, siendo el porcentaje de formación de núcleos proporcional a la sobresaturación relativa (Teoría de Von Weimarn) y el índice de crecimiento del cristal es proporcional a la sobresaturación absoluta (Ecuación de Nernst-Noyes). El semihidrato se convierte directamente en dihidrato sin etapas intermedias. La anhidrita III se convierte en dihidrato mediante una etapa intermedia de paso a semihidrato, y la anhidrita II se transforma directamente en dihidrato sin etapas intermedias.

Cuando la proporción de agua es la correcta para el fraguado y para el endurecimiento, la mezcla endurece formando una estructura de dihidrato, y una cristalización final, que según Ludwig y otros, consiste en un intercrecimiento con interconexión de los cristales del dihidrato e inclusiones de los componentes no hidratados, eliminándose el exceso de agua mediante secado.

El sistema de fabricación del yeso influye también en su hidratación, toda vez que el semihidrato β procedente de un horno rotatorio requiere más agua para formar una pasta fluida de consistencia uniforme que la que requiere un yeso fabricado en marmita, que a su vez requiere más agua que el yeso multifásico, y este a su vez requiere más que el yeso de autoclave.

Distintos autores concluyen que en el proceso de hidratación del yeso, la nucleación más importante es la heterogénea, que se produce al formarse el núcleo sobre una base, ya sea la fase en disolución, una impureza del medio, o una sustancia añadida a tal fin. A

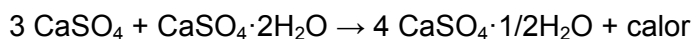
estas sustancias se las denomina gérmenes, y sobre sus paredes o caras se desarrolla el nuevo cristal.

La velocidad de fraguado del yeso puede oscilar desde los 3-5 minutos para el semidrato, hasta los 60-120 minutos para yesos comerciales actuales con adición de retardadores de fraguado. La importancia de la rapidez o retraso del fraguado radica en el hecho de que va a marcar el período de trabajabilidad de la pasta de yeso, obligando al operario a actuar con cierta rapidez y preparando pequeñas cantidades de material, ya que si no fraguaría prematuramente la masa preparada. Los parámetros que delimitan el tiempo de fraguado del yeso son:

- El principio de fraguado. Tiempo en minutos que tarda en pasar la masa de yeso-agua del estado líquido al plástico (medido desde que comienza a echarse el yeso en agua). El método a seguir para su determinación se define en la norma UNE-EN 13279-2 “Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo”.
- Fin de fraguado. Tiempo en minutos que tarde en pasar la masa yeso-agua del estado líquido al sólido (medido desde que comienza a echarse el yeso al agua). El método a seguir para su determinación se definía en la norma UNE 102-031-82, hoy derogada y no contemplada en la nueva norma europea descrita anteriormente, debido a la cantidad de factores que influyen en este tiempo de fraguado, como pueden ser:
 - I. La cantidad de las diversas fases que existen, ya que el semihidrato puro tiene menor tiempo de fraguado que cuando existe presencia de anhidritas.
 - II. La cantidad de agua de amasado, porque al bajar la relación agua/yeso (A/Y) disminuye sensiblemente el tiempo de fraguado. El semihidrato β y el multifásico requieren más agua de amasado que el yeso α para obtener una consistencia fluida.
 - III. La temperatura, dado que a pesar de que este aumento debería acelerar la reacción de hidratación, el aumento de solubilidad del dihidrato hasta los 50 – 60 °C y la disminución de la del semihidrato (según la teoría de cristalización por solubilización ya descrita), producen un retraso de la reacción total. Es decir, la

velocidad de hidratación va a estar relacionada con la diferencia de solubilidades para cada temperatura.

- IV. El tiempo de amasado, ya que su prolongación también disminuye el tiempo de fraguado, al favorecer la disolución del semihidrato.
- V. El menor tamaño de las partículas, porque a mayor finura de las mismas se produce una disminución del tiempo de fraguado, al facilitarse la hidratación del semidrato y también su disolución. La forma de la partícula, la distribución de su tamaño y la superficie específica determinan distinta cantidad de agua para cierta consistencia, lo que a su vez afecta a la relación A/Y. Generalmente el yeso muy fino requiere más agua que el yeso de grano grueso. Las partículas en forma de barra también incrementan la cantidad necesaria de agua
- VI. El tiempo transcurrido desde la cocción y almacenamiento, ya que el yeso recién cocido fragua más rápidamente que el mismo material transcurrido algún tiempo, lo que se explica según Ostwald por la destrucción de los gérmenes de dihidrato sin cocer por la acción de la anhidrita, que también acompaña generalmente al semihidrato. La reacción química sería:



Aunque este almacenamiento (envejecimiento) es causado, hasta cierto punto por la absorción de vapor de agua del aire. Se necesita así más agua para el yeso recién calcinado que para el envejecido. Si se absorbe una considerable cantidad de agua pueden formarse núcleos de dihidrato, acelerando el proceso de hidratación. Existe un proceso denominado aridización que consiste en añadir al sulfato de calcio utilizado como materia prima, antes de su calcinación, cloruro de calcio o sales minerales en proporciones de hasta un 0,2% en peso, con lo que se produce un envejecimiento artificial, para que el yeso no sufra cambios significativos durante su almacenamiento (Wirsching, 1996).

- VII. Acción de retardantes o de acelerantes. La adición de retardantes origina el aumento del tiempo de aplicación, por lo que teniendo en cuenta la rapidez de fraguado del yeso son los más utilizados, dividiéndose en tres grupos (Gomá, 1979; Arredondo, 1969):

Grupo a) Constituido por sustancias que modifican la solubilidad de algunas de las fases presentes en la hidratación. De este tipo son los compuestos con grupos carboxilos o hidroxilos como la glicerina, glicoles, alcohol y ácidos acético o bórico, que forman complejos con los iones Ca^{2+} , reduciendo su concentración en la disolución, con lo que desplazan el equilibrio haciendo el dihidrato más soluble y retardando su precipitación. Aunque reducen las propiedades mecánicas del yeso fraguado, y el comportamiento de aglomeración o dispersión de los cristales en las pastas de yeso. El ácido cítrico es el retardador más eficaz, porque tiene tres grupos carboxilos potencialmente ionizables, lo que da lugar a una mayor densidad de carga aniónica provocando el mayor desequilibrio en las cercanías de las caras y del yeso en crecimiento (Singh y Middledorf, 2007).

Grupo b) Formado por sustancias que disminuyen el contenido de Ca^{2+} en disolución por medio de la formación de productos insolubles, que precipitan envolviendo a los gérmenes cristalinos de dihidrato, dificultando su crecimiento. Pertenecen a este grupo los boratos, fosfatos, acetatos, carbonatos, silicatos, etc., aunque su inconveniente es que pueden generar eflorescencias. En ocasiones el carbonato cálcico acompaña al yeso y en otras, en el amasado de los yesos de construcción se utilizan mezclas de cal y yeso (empleándose tanto el óxido de calcio o cal viva, como el hidróxido de calcio o cal apagada o hidratada) y también en yesos cocidos por encima de los 800 °C, donde el sulfato de calcio se empieza a descomponer produciendo óxido de calcio. Este óxido de calcio al hidratarse y pasar a hidróxido cálcico modifica el pH haciéndolo básico, lo que influye en las condiciones del medio, pudiendo producir algún efecto en el fraguado.

Grupo c) Lo componen el grupo de los compuestos orgánicos, de elevado peso molecular y algunos coloides que actúan precipitando sobre los gérmenes de cristalización dificultando su crecimiento y aumentando la viscosidad, siendo los más utilizados en la aplicación de los yesos artesanales. Además del tiempo de fraguado, estos compuestos modifican otras propiedades como la plasticidad, contracción diferencial, elasticidad, etc. Caseínas, goma arábiga, cola, taninos, queratinas, albúmina, melaza, etc. son algunas de las sustancias que pertenecen a este grupo de compuestos.

Los aceleradores reducen el tiempo de aplicación, por lo que teniendo en cuenta la rapidez de fraguado del yeso, son menos utilizados. En este grupo se pueden citar a los sulfatos (excepto el de hierro), nitratos, cloruros (sobre todo el de

aluminio), bromuros, ácido sulfúrico, clorhídrico y nítrico, jabones, etc. Su efecto es la disminución de la solubilidad del dihidrato, facilitando su precipitación, aunque en forma de cristales más pequeños y delgados en forma de aguja, que tienen una significativa reducción en la ligazón intercrystalina (Singh y Middendorf, 2007), causando por ello cierta disminución de la resistencia y de la dureza del yeso. El sulfato de potasio (K_2SO_4) es el acelerante más eficaz, porque hace más soluble a las fases anhidras, al estabilizar las láminas de agua que lo recubren durante el proceso. Pero modifica la morfología y con ello se reducen las propiedades mecánicas del yeso fraguado. El empleo combinado del sulfato potásico y de una solución de bisulfato potásico ($KHSO_4$) e hidróxido cálcico ($Ca(OH)_2$) que genere núcleos de doble hidrato por la unión de los iones calcio y sulfato, da lugar al aumento de la velocidad de fraguado sin modificaciones morfológicas, manteniendo sus propiedades mecánicas.

- Duración del estado plástico. Corresponde a la diferencia entre el principio y fin de fraguado, y desde un punto de vista práctico, es el tiempo durante el cual la pasta de yeso tiene la consistencia adecuada para poder ser aplicada.

2.- La finura de Molido.

Además de lo comentado anteriormente, se ha de tener en cuenta que a través de estudios de microdureza, se ha confirmado que los yesos con granos más vastos y compactos dan lugar a estructuras de mayor dureza. Por ello, debe controlarse ésta finura, ya que si es elevada proporciona un producto de fraguado muy rápido. Aunque por otro lado, cuanto mayor sea el grado de finura, tanto más completa será la reacción y, por tanto la calidad del producto obtenido.

3.- La expansión y contracción diferenciales

Se encuentra influenciada por parámetros como:

- i. La relación agua-yeso, ya que si ésta es mayor, mayor es la contracción.
- ii. La velocidad de secado, que depende a su vez de la temperatura, humedad relativa y de la ventilación del recinto donde se esté aplicando, ya que a mayor velocidad de secado mayor contracción.

- iii. El rebatido de la pasta disminuye el tamaño de los poros, originando un aumento de contracción en los yesos, aunque si éstos llevan retardantes, el efecto se elimina.

Como se ha dicho con anterioridad, la reacción de hidratación del yeso es exotérmica, pero al mismo tiempo produce una expansión debido al rápido crecimiento de los cristales durante el fraguado, lo que lo hace muy apropiado para el moldeo de piezas irregulares, por su facilidad para rellenar todos los ángulos de los moldes.

4.- La resistencia mecánica a flexotracción y a compresión

Dependen de su naturaleza y composición de fases, de su finura, de la relación agua/yeso o agua de amasado y del contenido de humedad en el momento de la rotura.

El contenido de las diferentes fases va a producir diferentes curvas de endurecimiento. Estudios comparativos llevados a cabo por Landrieu con un yeso común, formado por tres partes de semihidrato y una parte de anhidrita y con un semihidrato puro, mostraron un crecimiento uniforme de la resistencia a flexotracción con los días de curado, mientras que en el semihidrato puro, se observó una caída de las resistencias en los primeros días de curado para posteriormente crecer por encima de la del yeso común, lo que según algunos autores es interpretado como una recristalización, consistente en el paso de una estructura de cristales finos a otra de cristales gruesos (Gomá, 1970) (Fig. 21).

Teniendo en cuenta la reacción química de hidratación desde un punto de vista estequiométrico, bastaría añadir al yeso semihidrato un 18,6% de agua para completarla ($A/Y = 0,186$).

En la práctica hace falta mucha mayor cantidad de agua, ya que con ésta sería imposible de amasarse y fraguaría muy rápidamente. Así, mientras más agua de amasado se emplee, mayor será la facilidad de la operación y más se retrasará el fraguado. El agua que se adiciona en exceso no interviene en el proceso de hidratación, sirviendo exclusivamente para aportar plasticidad a la pasta, por lo que al secarse ésta durante el fraguado, se elimina por evaporación, generando así una masa más o menos porosa en función del exceso de agua añadido. Así se explica la caída de resistencias que se produce en el yeso con el incremento de la relación A/Y , pudiendo decirse que cuando esta relación sobrepasa a 1,2, se anulan las resistencias y se obtiene un yeso que se degrada progresivamente (Gomá, 1979) (Fig. 22).

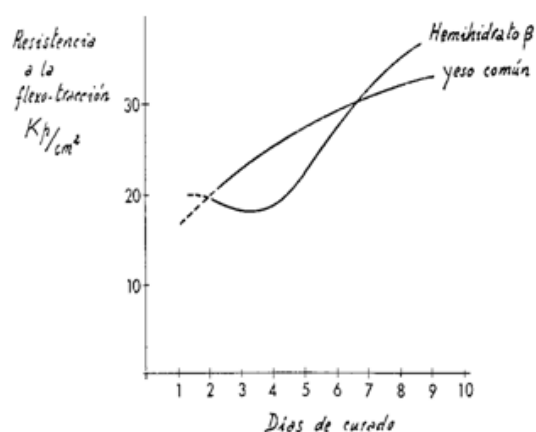


Figura 21. Influencia de la composición de fases en la Resistencia a la flexotracción

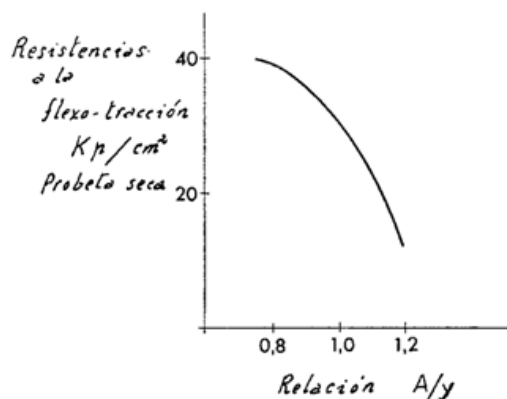


Figura 22. Influencia de la relación A/Y en la Resistencia a la flexotracción

La resistencia a la flexotracción está influenciada por el grado de humedad de las probetas en el momento de su rotura. La humedad continua rebaja la resistencia debido a cambios cristalinos y estructurales; apareciendo una recristalización como consecuencia de la solubilidad del yeso en agua. La deformación de los yesos en estado húmedo es consecuencia de sus cambios estructurales (Wirsching, 1996).

Según H. Andrews, para un yeso amasado con un 60% de agua, en sus probetas desecadas se encontraron las siguientes caídas de resistencia cuando se incorporaba agua (Arredondo, 1969) (Tabla 4).

Tabla 4. Porcentaje de caídas de resistencia a compresión, de un yeso dosificado a 0,60 de agua, por incorporación de agua en su dosificación

Agua añadida (%)	Pérdida de resistencia (%)
0	0
0,04	33
1	52
5	56
25	56

Se puede observar que con pequeñas humedades se produce una caída de resistencia en torno al 50%. El origen de esta reducción se halla muy probablemente, en la disolución parcial de la película intercrystalina y en el aumento de la lubricación entre cristales, lo que disminuye la resistencia de rozamiento. Esto nos hace tomar conciencia de la necesidad de aplicar el yeso en lugares secos, preferentemente interiores, para que

estén a salvo de las humedades. Para su empleo en exteriores o lugares expuestos a la acción del agua, sería necesario recurrir a sistemas de impermeabilización.

La resistencia del yeso seco fraguado es directamente proporcional a su densidad, por ello, depende principalmente de su porosidad y menos directamente de la proporción de agua/yeso y del tamaño y estructura de los poros (Wirsching, 1996).

Durante el secado, la resistencia del yeso va aumentando hasta el 5% de humedad, haciéndose evidente al 1% y alcanza su valor final cuando se ha llegado al equilibrio con el contenido de humedad. La humedad continua, rebaja la resistencia debido a cambios cristalinos y estructurales, apareciendo una recristalización como consecuencia de la solubilidad del yeso en agua.

También la presencia de aditivos provoca un cambio en la estructura del cristal, modificando la hidratación, lo que lleva a variaciones en la resistencia, aún cuando no haya una modificación de la densidad, incluso en estado seco.

Un caso extremo es la reducción de la resistencia en presencia del ácido cítrico usado como retardador, ya que en proporciones inferiores al 0,1%, tiene un efecto retardante y sólo rebaja ligeramente la resistencia. Con cantidades superiores al 0,2% cambia el hábito del cristal del dihidrato de forma que no se produce un endurecimiento del yeso porque los cristales ya no se entrelazan ni se entrecruzan.

5.- La Solubilidad.

Como se comentó anteriormente, el yeso es un material ligeramente soluble en agua, oscilando su solubilidad entre los 2,23 g/l. a 20°C y los 2,57 g/l. a 50°, siendo algo mayor ésta en agua salada.

Este hecho, aunque constituye otro de los problemas para el empleo de yeso en los exteriores, no es tan dramático como el caso de la caída de resistencias. Así, Arredondo (1969) cita que para disolver un enlucido de yeso de 1 cm de espesor, se necesitaría más de 1 m³ de agua por m², y esto suponiendo que el yeso, quedase saturado de agua, lo que en construcción sucederá en rarísimas ocasiones.

La solubilidad en agua de las diferentes fases del yeso en función de la temperatura, se muestra en la siguiente gráfica (Fig. 23).

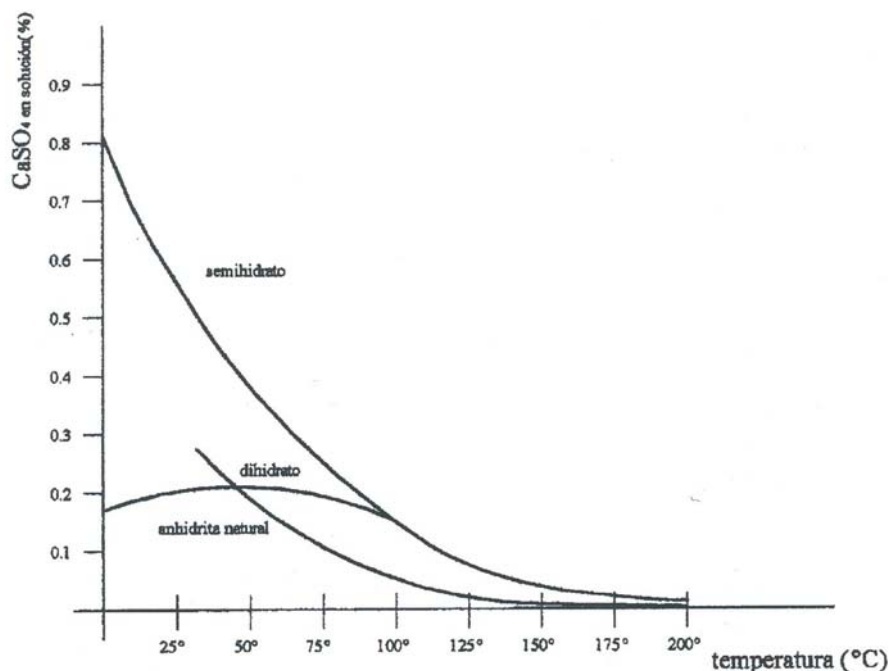


Figura 23. Solubilidad en agua de las diferentes fases en función de la temperatura

De todas formas, como se ha visto, se ha intentado actuar sobre este problema disminuyendo la solubilidad (impermeabilizar), bien con el empleo de aditivos a la masa, como silicatos, fluatos, gelatina, caseína, metilcelulosa, emulsiones y disoluciones de cera, etc. durante su fraguado, o bien, una vez endurecido y perfectamente seco, con la aplicación de acetona, disoluciones de gelatina, goma arábiga, aceites, barnices, resinas sintéticas, ceras de abeja disueltas en aguarrás, etc.

Las resinas aumentan la estabilidad del producto fraguado frente a la temperatura, así como su resistencia mecánica, elevándose ésta a veces, hasta un 400%, aprovechándose este hecho para la fabricación de moldes.

En el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento, se han empleado más de doscientos sistemas para impermeabilizar el yeso, donde tan sólo con dos de los productos empleados, se ha llegado a una absorción nula tras más de 40 días de conservación en agua. Se trata de dos productos comerciales a base de siliconas, haciéndose la impregnación de las probetas, al vacío.

6.- La dureza

Es la propiedad que expresa la capacidad de un material para oponerse a ser deformado en superficie, por la acción física de otro. Para el yeso endurecido, la dureza Shore C es una técnica que se emplea habitualmente, encontrándose descrito su ensayo en la norma UNE 102.039-85. La norma actualmente en vigor, utiliza la determinación de la dureza mediante la huella dejada por una fuerza determinada sobre la probeta de ensayo, según la norma EN 13279-2:2004.

Esta propiedad está influenciada también por una cantidad de variables como la relación A/Y, tipo de yeso, espesor de aplicación, tipo de soporte, humedad del yeso, etc., siendo la relación A/Y la principal de ellas. La influencia del agua de amasado ha sido investigada por P. Barriac (1973) (Fig. 24), obteniendo un descenso casi lineal de la dureza con el aumento de la relación A/Y. Esta medida de la dureza va a proporcionar un dato de utilidad en el control de calidad de los productos a base de yeso una vez ejecutados en obra.

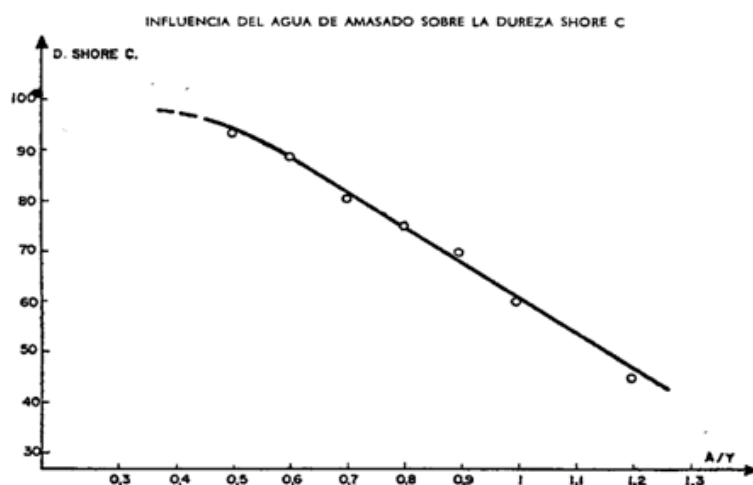


Figura 24. Influencia del agua de amasado sobre la dureza Shore C

7.- Adherencia.

El yeso presenta buena adherencia a muchos materiales de construcción como la madera, hormigón, mortero, piedra, ladrillo, etc., viéndose incrementada con la porosidad del soporte y disminuida con relaciones A/Y elevadas (mayores a 1,2), por la falta de limpieza de los soportes (polvo, partículas sueltas, etc.) y la presencia de humedad

constante, pudiéndose llegar a producir el desprendimiento total o parcial del elemento o masa aplicada.

Por ello, para la aplicación de tendidos (guarnecidos y enlucidos de yeso) es conveniente humectar previamente el soporte para mejorar la adherencia, aunque no tan húmedo como para que los poros superficiales del soporte se encuentren llenos de agua y eviten la penetración de la pasta dentro del soporte para que al fraguar parcialmente dentro del mismo se obtenga una adecuada adherencia mecánica (Villanueva, 2001).

En lo referente a las propiedades químicas de los yesos artesanales son de destacar tres parámetros:

- 1.- El agua combinada que forma parte del semihidrato o del dihidrato, determinada según el método descrito en la norma UNE 102032-84, donde valores superiores al 6% (para yesos) o 7% (para escayolas), indican la presencia de un mayor contenido de dihidrato, bien por hidratación posterior a la cocción o por cocción insuficiente del aljez.
- 2.- El índice de pureza, que considera el contenido teórico total de sulfato de calcio y agua combinada, determinada y descrita según la norma UNE anterior mencionada, como un porcentaje mínimo que oscila entre el 75 y el 92%, que utilizado conjuntamente con el % de agua combinada nos sirve para dictaminar la calidad del yeso.
- 3.- El contenido de semihidrato, referido al contenido teórico total de sulfato de calcio semihidrato, determinado según el método descrito en la norma UNE 102037-85, expresado como un porcentaje mínimo que oscila entre el 85 y el 87% pero exigible sólo a las escayolas.

En cuanto a las propiedades tecnológicas, el yeso, como material de construcción, además de algunas de las propiedades citadas anteriormente como su fraguado rápido y modificable, buenas propiedades mecánicas y adherencia a los materiales porosos, presenta otras, que en épocas artesanales no fueron tenidas en cuenta, como son: su capacidad de aislamiento térmico, protección contra el fuego, absorción acústica, compatibilidad con otros materiales de construcción, regulación higrométrica, ligereza y coste de obtención relativamente bajos, que lo convierten en un material idóneo para revestimientos y elementos decorativos.

Variedades artesanales

Como se ha nombrado brevemente en apartados anteriores, tradicionalmente se producen tres tipos de yeso artesanal:

El yeso hidráulico o para pavimentos, que son las piedras que tras la cocción han quedado más renegridas (sobrecocidas) por lo que se separan y trituran aparte;

El yeso blanco para enlucidos o blanqueos, que corresponde a las piedras de mejor aspecto tras la cocción, separándose y triturándose más fino; y

El yeso negro o moreno para guarnecidos y como conglomerante de albañilería, que corresponde al resto de las piedras y escorias, que tras la combustión, se recogen y trituran juntos.

Existe una amplia gama de productos a base de yeso, de entre los cuales, los más directamente relacionados con los yesos artesanales serían: los morteros de yeso, los morteros de yeso y cal, las yeserías y los estucos a base de yeso.

Morteros de yeso: Se han utilizado principalmente para revocar paramentos interiores. Se componen de yeso y arena fina en proporciones que oscilan entre la 1:2 y 1:3 en peso, siendo conveniente amasar primero la pasta de yeso (el yeso y el agua) y sobre ella verter la arena para conseguir que cada grano quede perfectamente envuelto por la pasta. Si se aumenta la proporción de arena, las características resistentes del mortero disminuyen y se hace más frágil. El fraguado rápido de estos morteros se puede resolver añadiendo colas que al mezclarse con la pasta retardan el fraguado.

Morteros de yeso y cal: Son morteros bastardos constituidos por dos conglomerantes (yeso y cal), donde el primero aporta rapidez de fraguado y el primer endurecimiento, y el segundo retarda el fraguado del yeso y aporta resistencia y durabilidad a largo plazo, sobre todo en el caso de que se empleen para exteriores. Se le pueden incorporar áridos de diversos tipos, lo que unido a la diversidad de dosificaciones da lugar a una gran variedad de tipos. Uno de los mas conocidos es el *trabadillo*, mortero compuesto de yeso y cal, que puede llevar mezcla de áridos y también fibras, paja, etc. y en muchos casos aditivos para retardar el fraguado del yeso o mejorar las prestaciones de la mezcla (Dorrego et al., 1998). Se pueden aplicar en revestimientos interiores o exteriores, patios, medianerías e incluso fachadas. La dosificación para los aplicados en una sola capa

suele ser de 3:10: 7 (cal: yeso: arena, en volumen), y para los bicapa 1:3:2, siendo la finura de la arena en ambos casos de 0 a 3 mm. Los útiles de aplicación son la talocha, llana y rasqueta, y el espesor final de acabado está en torno a los 2 cm (1 + 1 en los bicapa) (Gárate, 1999). Otros autores citan dosificaciones de 2-3:1, más árido o sin él para morteros de revocos, y la de 1:6 para la realización de productos ornamentales y decorativos.

Yeserías y estucos de yeso: Están formados básicamente por mezclas de yeso y colas de origen animal u otros aditivos, que retrasan el fraguado (pastas), aumentan la plasticidad y moldeabilidad del estado fresco, mejorando la adherencia, dureza y resistencia a agentes externos. Entre sus formulaciones también es frecuente encontrar cal, polvo de mármol (marmolina), pigmentos, jabones, aceites, etc.

El estuco clásico de yeso se compone de 80 partes de yeso cocido, 20 partes de mármol pulverizado y 20 partes de sulfato de potasio, amasadas con una solución acuosa de cola animal al 5%. También se puede fabricar con escayola o yeso blanco fino, amasado con agua que contiene gelatina o cola de pescado.

Las técnicas son múltiples y complejas, dependiendo del artesano estucador que las ejecuta y del tipo de estuco que se desea obtener, siendo algunos de ellos: los estucos normales (de yeso fino y cola), los marmorados (con veteados para imitar al mármol con la mezcla de pastas de distintos colores), los estucos lustro (con gran brillo, obtenido por planchado en caliente), el estuco taraceado o *scagliola* en italiano (con inyección de yesos colorados sobre soporte de color homogéneo para conseguir el motivo dibujado), etc.

Un ejemplo de la preparación y aplicación de un estuco podría ser la que sigue:

“Se revisten los paramentos, maestreados o no, con una primera capa. A continuación, si el paramento va a ser coloreado, se mezcla el yeso con el colorante. Se tamiza la mezcla lo más fina posible y se le añade la cantidad de agua adecuada para que la pasta no fragüe “yeso muerto”. Se extiende la pasta con la llana y se repasa con la paleta, asperonando y apomazando mediante un frotado de la superficie con un pedazo de lienzo áspero o de fieltro algo humedecido. De esta manera se conseguirá tapar los poros. A medida que el mortero se seca, se procede al pulimento de la superficie, aplicando una bruñidora de acero. También se puede frotar el paramento con una muñequilla de trapo fino rellena con una pasta de yeso, pigmento, y polvos de talco. A

esta pasta se le puede añadir potasa o lejía espesa” (Díez, 2004). Estas operaciones debían realizarse simultáneamente, lo que requería el trabajo de varios hombres.

2.2.2.- Historia y técnica de los yesos artesanales islámicos en la Península Ibérica

En la península ibérica, se generalizó el uso del yeso durante el período de ocupación romana, siendo en la costa alicantina donde aparecen los primeros testimonios de yeserías artísticas, más concretamente en las ruinas de Villajoyosa (Belda, 1947).

En la España islámica se fechan las primeras yeserías, como se ha dicho, en la ampliación de la mezquita mayor de Córdoba por al-Hakam II⁷⁸, existiendo, entre estas yeserías y las de los palacios orientales, la analogía del escaso relieve de las tallas, además de la pequeña escala y la gran densidad, características que se mantendrán en los edificios mudéjares o nazaríes españoles y en sus contemporáneos orientales. En esta época, las yeserías señalan influencias de Cairuan (s. IX), evidenciándose en los frisos altos del mihrab de la Mezquita de Córdoba (Guerrero, 1955). Según Torres Balbás (1955), su origen deriva de la Persia sasánida (s. III – s. VII d.C.). Almagro (1984) coincide en que el origen de las yeserías se encuentra en Irán (Imperio sasánida), que al ser incorporado al dominio del Islam se difunde con gran rapidez, pudiéndose observar esta influencia en el Alcázar Omeya de Amman, por lo que la difusión cultural se produce antes del califato abasita.

El cambio de la Corte de Damasco a Bagdad acrecentó el empleo de yeserías en los edificios abasíes de Mesopotamia, seguramente también con influencias sasánidas, destacando de entre todas ellas, las yeserías de Samarra. Según Torres Balbás “el aspecto de estas yeserías abasíes difiere de las sasánidas y omeyas tanto por el dibujo como por la técnica del modelado. En el primero predominan los juegos de curvas y contracurvas de formas caprichosas, encajadas unas en otras y elementos vegetales estilizados y yuxtapuestos formando composiciones muy densas... Respecto al relieve, tallóse en superficies ligeramente curvas, perfiladas por surcos lineales abiertos con el cincel, talla bien distinta a la biselada predominante en las yeserías sasánidas y omeyas”. Torres Balbás cita como precedentes de las yeserías españolas medievales las encontradas en Sedrata (Argelia). Ciudad en medio del desierto, fundada en el S. X. Sus yeserías aportan los tres temas de la decoración musulmana: el geométrico, representado por trazados muy sencillos a base del cuadrado y del círculo; los florales,

⁷⁸ Arcos ciegos del interior del mihrab, entre otras

más pobres y escasos, convencionales y esquemáticos; y la epigráfica, a base de inscripciones con letras cúficas y pequeñas hojas de tres lóbulos intermedios. Según el mismo autor “caracteriza a las yeserías de Sedrata su modelado plano; los temas decorativos destacan vigorosamente sobre un fondo... Tanto la silueta como el detalle se han obtenido por cortes normales o ligeramente oblicuos al plano del fondo, la decoración queda así fragmentada en pequeñas porciones...”

La corta representación decorativa de los yesos en los primeros períodos del Islam hispano es superada ampliamente en la época taifa⁷⁹, debido en parte, a la facilidad de la labra del yeso en estado fresco frente a la cal, ya que ésta última no tiene la suficiente consistencia ni dureza inicial, lo que producía aristas poco limpias al ser labradas después de seco. En el siglo XI con la desmembración del Califato en los reinos taifas se da una localización geográfica de las yeserías, que siguen más o menos de lejos el modelo cordobés. El reino toledano de Almamún tiene gran esplendor en este período. Nos han llegado restos en patios de algunos palacios de la época, como los de la casa de la Calle de Núñez de Arce, 7 y otro en la Plazuela del Seco. Las decoraciones son a base de motivos vegetales esquematizados y geométricos, con florones, frutas, palmetas digitadas y tallos hundidos formando espirales.

Otro reino taifa de excepcional importancia para la sistematización de las yeserías hispanomusulmanas medievales es el de Zaragoza. El palacio de la Aljafería tiene importantes yeserías en su patio, con arcos mixtilíneos enlazados, ejecutados en yeso, una ancha franja lisa enmarcando las figuras geométricas y cuajado de decoración vegetal en los espacios intermedios (Villanueva, 1996).

Con los taifas se llega a conseguir grandes realizaciones en los conjuntos de la Aljafería y la Alcazaba de Málaga, beneficiándose los almorávides de sus recursos ornamentales y siguiendo los almohades fieles en esta tradición.

Gómez Moreno (1951) señala que *“la originalidad prestada a la gran mezquita de Córdoba, enlazando con las innovaciones apreciadas en el salón rico de Azahara, que es donde se inaugura el tránsito, se puede llevar hacia el 951 su aparición⁸⁰”*. El enriquecimiento se produjo con el falseamiento de las estructuras, donde la decoración mural de relieve se talla en chapas sobrepuestas a la fábrica, bien de mármol, de arenisca, y sobre todo de escayola, novedad que vino del oriente islámico, convirtiéndose

⁷⁹ Aljafería de Zaragoza, Sinagogas de Córdoba o Toledo, Alhambra, Alcázar de Sevilla, Monasterio de las Huelgas,...

⁸⁰ 953 al 957 según Torres Balbás (1955)

en material decorativo por excelencia, no variando su aspecto del de la arenisca esculpida de Azahara, pero obteniéndose ventajas en expedición y adherencia, lo que justifica su éxito. Posteriormente se pintaba toda la decoración de rojo y azul. Para este autor, la talla del yeso se realizaba en duro con instrumento de hierro. Para otros autores como Torres Balbás, el yeso se tallaba en fresco también, aún no endurecido, lo que llevaría a utilizar un procedimiento para retrasar el fraguado. Saladin indica que con este fin, se añadía sal al yeso, aunque generalmente el retrasado en el endurecimiento se confiaba al agua de cola, añadida en proporciones variables. La técnica consiste en colocar sobre la pared sucesivas capas de yeso, que se va fratasando, mientras se secan, para proceder en una última capa de enlucido de yeso aún fresco al decorado con punta metálica o cuchillo de una malla geométrica, como patrón para completar posteriormente el dibujo. Acabado éste, se puede bruñir con un paño húmedo, cuero o madera, añadiendo aceites para dotar al muro de impermeabilidad y aspecto más rico, o se empolva con una fina mezcla de yeso y talco, puliendo posteriormente para obtener el brillo deseado. El colorido se obtiene añadiendo al yeso fresco algún colorante diluido.

El fundador de la dinastía almorávide, de origen africano, había construido las mezquitas de Tremecen (1112) y de Argel (1096). Pero el máximo esplendor de este arte se alcanzó algo después, cuando artistas españoles construyen los principales monumentos de Marrakech y Fez y decoran la mezquita de Tremecen. La invasión almorávide de la zona musulmana de la Península va a suponer una unificación de los criterios artísticos y un nuevo impulso a los motivos ornamentales hispanomusulmanes.

Según Pavón Maldonado la yesería almorávide tiene los fondos profundos, los tallos extremadamente delgados, las palmetas anilladas con un arillo por cada dos digitaciones y finos apéndices que sirven para unir los arillos a la palmeta, cuyo borde inferior tiene línea hundida o “acuchillado”. Aparecen dos decoraciones: una en el plano inferior que tiende a hacerse compacta y está formada por palmetas digitadas sencillas y otra en primer término, más lisa y rica, de selectas facturas, con predominio de palmetas enlazadas, que se rellenan con vegetales de diferente naturaleza. También aparecen composiciones geométricas que originan arcos mixtilíneos y losanges, así como mocárabes utilizados en arcos y bóvedas, que constituyen una importante aportación oriental.

Cuando al mediar el siglo XII los almohades⁸¹ comenzaron a adueñarse de al-Ándalus, la decoración de yeso tallado tenía una larga tradición, aunque su desarrollo se realiza a partir de la mezquita de Tinmal. Según Pavón Maldonado, los artistas andaluces al servicio de los Califas Almohades crearon lo que Terrasse ha denominado “décor large” (decoración ancha). En realidad no se inventaron nuevas formas, sino que el cambio consistió en dar nuevos valores estéticos a las formas de repertorio almorávide, mediante la armonía de las proporciones, la austeridad y la pureza de línea. La mayor sencillez del yeso almohade suponía una labra menos trabajosa, por lo que sería un producto más económico. Este abaratamiento y profuso empleo del yeso debieron incidir de forma positiva en su empleo generalizado en la arquitectura doméstica, como ha quedado comprobado tras las excavaciones del despoblado de Siyasa.

Los pórticos que se conservan son: El del patio del Yeso del Real Alcázar de Sevilla, el del Patio de la Contratación (descubierto por Rafael Manzano) y el de la casa nº 10 del despoblado de Siyasa (Cieza. Murcia). Hay pocos restos que acrediten su empleo en muros exteriores de edificios, aunque si los hay en patios y viviendas⁸².

Entre las yeserías más importantes de este período y en Sevilla destacan la del Patio del Yeso del Alcázar y los mocárabes de la bóveda del intradós de la Puerta del Perdón de la Catedral. Fuera de Sevilla, según el citado autor, con criterio almohade se decoran algunas dependencias del Monasterio de las Huelgas en Burgos, los primeros edificios nazaríes en Granada y las yeserías recientemente descubiertas en Córdoba (Plaza de los Mártires) (Villanueva, 1996). Los pilares y arcos se hacían de ladrillo, aunque en sitios destacados, como el mihrab, naves principales y arcos de herradura, quedaban ocultos tras una decoración de yeso, cubriendo también los muros inmediatos, que en forma de celosía, servían de cerramiento a las ventanas.

Después de la conquista de Toledo (1085) los artistas musulmanes que se quedan en dicha ciudad repiten inicialmente los modelos cordobeses y los del período taifa pero pronto se verán influenciados por el arte almorávide y el almohade hasta el punto que van a fusionarlos en un estilo propio.

Por su importancia excepcional destacan en este periodo las yeserías de la sinagoga de Sta. María La Blanca, donde su novedad está en el equilibrio establecido entre muros lisos y yeserías esquemáticas con equilibrio y austeridad tomados del arte almohade.

⁸¹ También de origen africano

⁸² “La decoración almohade en la arquitectura doméstica: la casa nº 10 de Siyasa” Navarro Palazón, Julio y Jiménez Castillo, Pedro (1995), “Estudio sobre once casas en Siyasa”, Navarro Palazón, Julio y Jiménez Castillo, Pedro (1996)

También corresponden a este periodo toledano (finales del XI a mediados del XIV) las yeserías del Patio de los Naranjos de la catedral de Sevilla, las de los Sepulcros toledanos de Fernán Pérez (1242) y Fernando Gudiel (1278) y las de la Sinagoga de Córdoba (mediados del XIV). Citando textualmente a Pavón Maldonado: “las yeserías toledanas se apartan de las granadinas del siglo XIII: la decoración compacta toledana pierde los tallos mientras que las nazaríes dejan ver todavía los tallos capilares ... las digitaciones toledanas derivan de las almorávides, en tanto que las granadinas sustituyen los anillos almorávides por los triangulillos lisos de la palmeta almohade ... Los artistas granadinos se van olvidando de los fondos compactos formados por las hojas digitadas, al tiempo que los elementos se hacen más pequeños y de facturas más virtuosas ... Las yeserías toledanas de factura más gruesa, lucen ritmos, flora y animales islámicos del siglo X y XI” (Villanueva, 1996).

En 1364 el rey D. Pedro I construye su palacio sobre el solar del Alcázar sevillano. Para decorar sus dependencias acuden mudéjares toledanos, que ya habían participado en la decoración del Palacio de Tordesillas (ver Fig. 29), que trabajan junto a los artistas locales. Además, las buenas relaciones de este rey con el nazarí Mohamed V hace posible la venida de artistas granadinos para contribuir a dicha decoración. El hecho es de gran importancia y se manifestará en los intercambios recíprocos entre sevillanos, granadinos y toledanos, con influencias muy apreciables en las yeserías posteriores. Pavón Maldonado describe minuciosamente a quién se deben las diferentes yeserías de este Palacio, así como sus variaciones estilísticas.

Antes del período nazarí, las yeserías se tallaban en fresco, empleándose a la par, a partir del siglo XIV, el procedimiento del vaciado en escayola. Guerrero Lovillo (1955) nos dice que los almohades habían trabajado el yeso conforme a la vieja técnica del empleo de la talla sobre el material blando aún, pero que la talla se efectuaba, no sobre el paramento a decorar, sino en lugar aparte, adhiriéndose luego al mismo mediante clavos metálicos. Aunque se puede decir que con los nazaríes se generaliza la labra del yeso, mediante el procedimiento de vaciados en moldes, que producía bellas decoraciones, pero que podían resultar monótonas por la repetición de una temática fija.

El moldeado consistía en el uso de una placa esculpida de madera, barro cocido o metálica que por presión en obra de yeso daba un negativo ahuecado, obteniéndose de esta forma una serie de frisos con temas geométricos o lazos y atauriques. También continuó utilizándose el procedimiento de la talla en fresco, pero sólo en elementos donde el vaciado no era posible. Así, todo un arte degeneraba en artesanía, pero con una impronta artística digna de ser estudiada.

González (1998), nos comenta, que cuando se labraba con moldes supuestamente de madera⁸³, el dibujo se podía obtener presionando éstos sobre la pared, pero incluso con este procedimiento era necesaria la talla a cuchillo para conseguir los pequeños detalles de fondo, que no es posible conseguir con éstos.

A finales del siglo XIII y en el XIV se desarrolló el arte nazarí, alcanzando las decoraciones de yeso su máximo desarrollo en la Alhambra de Granada. En las estancias principales las yeserías se extendían a los zócalos y en patios y habitaciones secundarias la decoración se reducía a las albanegas y recuadros de huecos, y a un friso (Torres, 1949). El origen de las yeserías nazaríes es complicado⁸⁴, ya que la influencia de las más antiguas hay que buscarlas, por un lado en la mezquita mayor de Qairawan (1293), mihrab de de las aljamas de Taza (1294) y Ujda (1296), y por otro, en la bóveda de un pasadizo del monasterio de las Huelgas de Burgos (1275) y las yeserías de la sinagoga de Santa María la Blanca de Toledo, entre otras.

En la época nazarí, los motivos decorativos de yeso se realizaban en muchas de las ocasiones mediante placas talladas a mano o realizadas con molde, que posteriormente eran colocadas en el paramento de forma ordenada y sistemática⁸⁵. La dificultad práctica de su colocación, estribaba en situar las piezas en un mismo plano con respecto al paramento en que se apoyaba, por lo que el alarife, colocaba las placas de yeso sobre el paramento mediante la aplicación de “tantos de barro” situados sobre el reverso de la placa, que quedaban fijados al mismo mediante presión con golpes, a la vez que se nivelaba con las restantes placas contiguas. Tras este proceso, la placa quedaba nivelada pero sin ningún tipo de sujeción permanente y hueca por su reverso, por lo que se vertía entonces una colada de yeso negro desde su parte superior para que la pieza permaneciera totalmente adherida al paramento. Señalar así mismo, que durante la preparación de la placa, aún fresco el yeso, se colocaban clavos de hierro forjado de unos 12 cm de longitud y de sección cuadrada, introduciendo la cabeza del clavo en el interior de la masa de la misma, para que una vez endurecida quedara embutido en la placa y asomando por su reverso, constituyendo otro elemento más que contribuye a la fijación (Rubio, 2002).

⁸³ En época nazarí se introduce el vaciado con moldes, utilizando una arcilla local de color anaranjado como desmoldeante (López, Burgio y Clark, 2005)

⁸⁴ Aunque como se vio en el estado de la investigación anterior, el arte almohade evolucionó hasta el arte nazarí y meriní. Además, el hallazgo de los restos del campo de los Mártires en Córdoba, permitió a Ocaña y Pavón afirmar la relación del estilo almohade avanzado con el nazarí, llegando a pronunciar Pavón con respecto al conjunto de yeserías, que “nos explica ya la decoración nazarí del siglo XIII, relacionándose a su vez con las mudéjares de Sevilla” (Ocaña, 1984, pág. 165) y (Pavón, 1973, 1988, pág. 129)

⁸⁵ (Rubio, 2002)

Hoy día, artistas magrebíes tallan obras en fresco, y aunque endurecen con el tiempo, se ablandan mojándolo nuevamente para permitir modificaciones en la decoración⁸⁶.

Además, los alarifes nazaríes y mudéjares tendían a jugar con efectos de luz y de color en sus diseños, para lo cual policromaban profusamente algunos paramentos y otros los dejaban en blanco.

Durante el Mudéjar, entre todas las técnicas, las más usadas fueron: la talla⁸⁷ y el molde. En la primera, sobre el yeso fresco alisado con el fratás, se trazaba una retícula cuadrículada, que luego se vaciaba, retallaba y coloreaba, adoptando las diversas formas del ataurique. En la segunda, el uso de moldes permitía una labor más rápida, aunque una última faena se hacía también a cuchillo, permitiendo mostrar así la huella personal del artesano en los detalles. Según Lavado Paradinas (1984), es posible que existieran plantillas para puntear los temas decorativos sobre el yeso fresco igual que moldes para improntas y vaciados, aunque no se haya conservado ninguna (Cómez, 2001).

Carlos Martín Jiménez (Martín, 2004), tras la restauración de unas bóvedas en un Colegio de Alcalá de Henares, realizado durante los siglos XVIII y XIX por la Orden de San Basilio, nos describe que la técnica empleada para la realización de la decoración in situ de las mismas, fue la de molde a presión, que consistía en llenar los moldes con pasta de yeso, y estando aún fresca la masa, se colocaban en el lugar elegido por el autor, al que previamente ya se habían fijado unos clavos de forja que servirían de anclaje.

La tradición medieval de las yeserías, iniciada por los musulmanes, continuó durante la primera mitad del s. XVI, con motivos decorativos renacentistas, en el denominado estilo Plateresco, como sucede en el paraninfo de la Universidad de Alcalá. Uno de los primeros documentos referentes al uso del estuco de yeso, lo encontramos también en el Renacimiento, en la Basílica del Monasterio del Escorial, donde se construyen 44 altares de scagliola⁸⁸.

⁸⁶ La precaución a tener en cuenta en estos casos, es que la resistencia a flexotracción de un yeso está influida por el grado de humedad, así según H. Andrews para un yeso amasado con un 60% de agua, en sus probetas desecadas se encontraron caídas de resistencia del orden de un 33% al añadirle un 0,04% de agua, y de un 52% para un porcentaje de agua añadida de un 1% (tomado de Arredondo, 1969)

⁸⁷ Que algunos llaman técnica a cuchillo (Cómez, 2001)

⁸⁸ Estucos de yeso taraceados

2.2.3.- El Alcázar: Historia e intervenciones sobre las zonas de estudio

Algunas formas del Alcázar sevillano, como se ha visto en sus antecedentes históricos, están emparentadas con varias de la Alhambra, que derivan de las desarrolladas en España y Marruecos durante los siglos XII y XIII (a partir de las almorávides y almohades), recordando a veces, remotos orígenes sirios, iraquíes o iraníes de siglos anteriores. Otras, como las del Alcázar mudéjar, participarán de los influjos toledanos⁸⁹, al constar intervenciones de artífices de Toledo en alguna de sus partes (Fig. 25, 26 y 27).



Figuras 25, 26 y 27. Fachada del palacio del rey D. Pedro del Alcázar de Sevilla, Fachada del Palacio del rey D. Pedro de Tordesillas, hoy Convento de Santa Clara, con influencias del arte sevillano y Fachada del Palacio del rey Pedro I en Astudillo, también hoy convento de Santa Clara, con influencias en la de Tordesillas

Pero también hubo relaciones culturales y políticas entre mudéjares sevillanos y nazaríes granadinos (Fig. 28 y 29), por lo que se pueden apreciar en este palacio ciertos aspectos más orientales que en otros edificios mudéjares, importación de los artistas granadinos. Toda esta mezcla ordenada, unida a los restos almohades del palacio del Yeso, hace predecir los encuentros que debieron producirse entre el arte cristiano y musulmán, al menos desde finales del siglo XII, que permitieron el sincretismo entre dos culturas muy diferentes.

⁸⁹ En la parte central de la fachada se anudan las diversas labores ornamentales debidas a artífices de diversa procedencia. Su composición sirvió de inspiración para la construcción de la fachada dorada del Cuarto de Comares en la Alhambra. En la parte central de la puerta de acceso, serán los toledanos quienes realicen las once dovelas que forman el dintel. En los laterales de la fachada intervienen maestros sevillanos, autores de los arcos polilobulados ciegos sobre columnas y los paños de sebqa inscritos en alfiz, trasunto de los que decoran la torre de la Giralda (Hernández 1999)

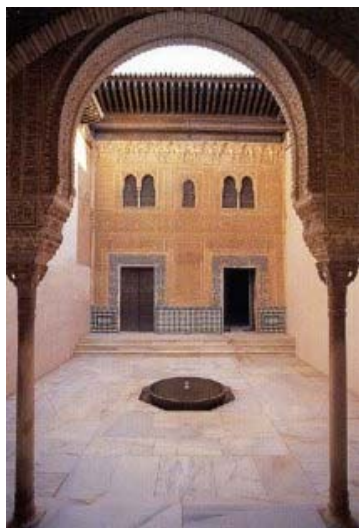
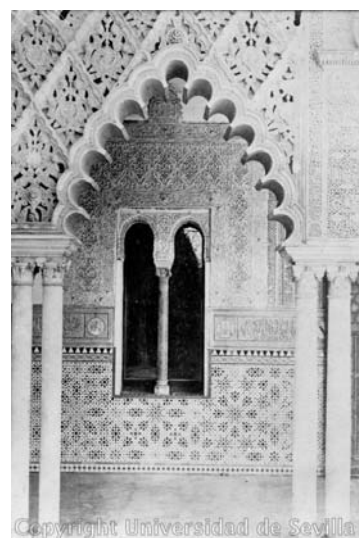


Figura 28. Fachada dorada del Cuarto del Palacio de Comares de la Alhambra donde se recogen las características observadas en la fachada interior del patio de las doncellas

Figura 29. Decoración de las paredes interiores de la galería del patio Doncellas con yeserías de tradición granadina



Lo que el Alcázar conserva de época almohade es: una gran parte de sus muros y torres, la puerta del León, la bóveda que existe en la casa número 3 del patio de Banderas, descubierta por Gestoso⁹⁰ y la arquería del patio del yeso, que reveló Tubino⁹¹.

PALACIO ALMOHADE

EL PATIO DEL YESO

Es una de las pocas edificaciones de la arquitectura almohade sevillana y uno de los escasos restos del alcázar musulmán. Tiene forma rectangular y es antecedente directo de los esquemas de la arquitectura granadina (Hidalgo, 1998). Su flanco sur, ofrece una galería porticada, organizada en tres módulos; el central, compuesto por un gran arco de lambrequines, cuyas enjutas ocupan una labor de sebka, considerándose su forma compositiva, precedente de esquemas habituales en el arte nazarí e incluso en el mudéjar (Hernández y Morales, 1999).

Se trata de una temprana aparición del denominado “sintagma almohade” (aaaAaaa), inspirado seguramente en viejos modelos califales que seguían gozando de gran prestigio mucho después del colapso del reino cordobés (Lleó, 2002).

Descubierto por Tubino a fines del siglo pasado y restaurado por el Marqués de la Vega Inclán y Rafael Manzano⁹², se ubicaba en el extremo suroeste del primer recinto Omeya.

⁹⁰ Sevilla monumental y artística, 1889

⁹¹ El Alcázar de Sevilla, 1886

⁹² Según se puede apreciar en las Fotografías aportadas, con la publicación del Libro, *Guía artística de Sevilla* de Juan de M. Carriazo de 1926 y el del *Alcázar de Sevilla*, (1940?), aparece en el primer caso, una fotografía del Patio del Yeso de 1912, donde se observa la fachada del patio del Yeso descubierta por Tubino a finales del s. XIX y en el segundo, una

Este patio quedaría como un espacio alargado con alberca central y dos galerías enfrentadas como la que se conserva actualmente. El resto de los flancos lo conformarían estancias alargadas con alcobas similares a las reproducidas por Manzano en la nave Sur....También parece claro el proceso de remodelación sufrido por este edificio tras la construcción de la Sala de la Justicia por Alfonso XI a inicios del XIV (Tabales, 2002).

Es casi cuadrado, tenía arquerías en dos de sus lados, el norte y el sur, y una alberca en su centro⁹³....; olvidado luego y casi totalmente oculto (González, 1998).

En el patio del Yeso se encuentra un tema nuevo en la arquitectura hispano-musulmana, se trata de la arquería de gran arco central que cobija y enmarca la puerta de la sala principal, con dos módulos laterales de arquerías de menor tamaño que llegan hasta la altura del alfiz, marcado por la elevación del arco central, mediante paños de *sebka* (Fig. 30). Esta composición de fachada, sólo tiene dos antecedentes: el de la fachada del palacio de la Buhayra con su arco central de mayor tamaño, y el de las arquerías internas de la *Dar al-Yund de Medina al-Zahra* (Manzano, 1999)⁹⁴.



Figura 30. Arco central del Patio del Yeso que enmarca la puerta de entrada a la Sala principal

fotografía de archivo de ABC (1918-1920) donde se observan las faltas de volúmenes de los arcos menores laterales tras la intervención del marqués de la Vega Inclán

⁹³ Rodrigo Caro lo cita en sus anales de 1643 (Caro, R. op. Cit. Vol I, pp. 417)

⁹⁴ Como se ha visto en apartados anteriores, nuevos descubrimientos sobre todo arqueológicos, han ampliado algo más este repertorio, como sucede con el despoblado de Siyasa y concretamente con el pórtico de la casa nº 10

LA SALA DE LA JUSTICIA O DEL CONSEJO⁹⁵

Es de planta cuadrada y se cubre con un artesonado de lacería ochavado, sobre muros ahuecados con nichos rehundidos y lienzos tapizados de yeserías, evocando a los modelos toledanos (Marín, 1998).

Responde al esquema de las qublas musulmanas (cúbica y cupulada). Cada uno de sus frentes ofrece una división tripartita, salvo los que sirven de ingreso, enmarcados con paneles de yeserías con motivos de ataurique y epigrafía, destacando la ornamentación correspondiente al vano del frente oriental, de acceso al Patio del yeso (Fig. 31). La zona superior de los muros presenta un friso con arquillos ciegos y escudos heráldicos y otro con huecos reales y fingidos, cerrándose aquellos por celosías, siendo de yeso todas estas labores (Hernández y Morales, 1999).



Figura 31. Vano del frente oriental con temas de ataurique

Con Alfonso XI (1311-1350) se inicia ya plenamente el mudéjar civil sevillano...Es una sala bellísima, aunque es de lamentar que para su construcción se destruyera una parte del cuarto del yeso almohade (Lleó, 2002). Este mandó construir la Sala de la Justicia en uno de los lados menores del patio del yeso. Esta sala es contemporánea del cuarto de Comares de la Alhambra y constituye una clara muestra del cambio de gustos de la corte hacia modelos islámicos (González, 1998).

⁹⁵ También llamada así, porque en sus muros hay poyatas de asiento que no existen en ninguna otra sala del palacio bajo (González Ramírez, 1998)

PALACIO DEL REY D. PEDRO.

EL PATIO DE LAS DONCELLAS

Perteneciente al palacio del Rey D. Pedro, tiene forma rectangular, rodeado de galerías en sus cuatro lados, las bajas, conformadas por arcos de herradura apuntados y polilobulados, más grandes y peraltados los centrales marcando los ejes principales del patio, todos ellos apeados por columnas de mármol de orden corintio, procedentes de los talleres genoveses renacentistas (Fig. 32). Estas arquerías se prolongan en paños de sebka calados, de tradición almohade, ejecutados con labores de yeso que recuerdan tradiciones cordobesas y granadinas. El conjunto se remata con un friso de inscripciones cúficas musulmanas. Originales del siglo XIV, son la decoración de las paredes interiores con yeserías de tradición nazarí (Hernández y Morales, 1999).



Figura 32. Arcos apuntados polilobulados sobre columnas de orden corintio

Con la llegada de la dinastía de los Austrias, el palacio sufrirá nuevas reformas y remodelaciones para adaptarlo a las necesidades de la corte y acomodarlo a las nuevas corrientes estéticas de los siglos XVI y XVII⁹⁶. Así, en 1572 se concluyeron los corredores altos y entre 1560 y 1569 se remodelaron los bajos, sustituyéndose sus antiguos apoyos marmóreos por las actuales columnas de orden corintio. También se peraltaron los arcos

⁹⁶ Durante el s. XVI, la necesidad de adaptar el antiguo palacio a las exigencias de la corte imperial, haciéndolo más funcional, y de revestirlo con las galas del Renacimiento, se tradujo en un programa de obras, muchas epidérmicas y de mantenimiento, reparándose los daños que el tiempo y el uso habían ocasionado en su decoración. Pero también se cambió la fisonomía del Alcázar por un programa generado a partir de 1537 cuando Carlos V dictó una orden para las obras reales..., se proyectaron reformas en el palacio en 1532..., luego en 1540, se iniciaron las obras de las galerías superiores, concluyendo en 1572

centrales de cada galería, con altos machones decorados con yeserías platerescas distribuidas por los paños de la arquería, entremezclándose con las labores de sebqa y las palmas de cuño mudéjar, imitando las islámicas. Posteriormente, entre 1581 y 1584, se enlosó de mármol el patio central colocándose una fuente del mismo material (Marín, 1992).

En la galería sur, pero en el último ángulo sureste, en el paramento interior, aparece una cartela con la leyenda “R.F.P.II”, “1569 a.”, “Francisco” “Martínez” y “M”, que se refieren a los años de la obra renacentista, 1567-69, bajo el reinado de Felipe II, siendo el autor de las mismas el maestro alarife Francisco Martínez (Hernández y Morales, 1999).

Durante el siglo XVIII, las obras más importantes que se acometen en el palacio, son las destinadas a reparar los estragos que causaron el terremoto de Lisboa (1 de noviembre 1755) y el incendio del 1 de diciembre de 1762. Las intervenciones realizadas a lo largo del siglo XIX son confusas y, en ocasiones, contradictorias (Hernández y Morales, 1999). La actuación de albañilería más significativa durante el período isabelino (1843-1868) fue en la Galería del patio, donde para evitar su hundimiento, se construyeron los grandes arcos rebajados de cada frente que estaban en ruina (Mérida, 2000). Entre 1856 y 1857, según proyecto del arquitecto José de la Coba, se inició el cierre acristalado de la Galería alta, para evitar las filtraciones en los artesonados de la planta baja, que también se repararon (Mérida, 2000).

Sobre el patio de las Doncellas hay diversas opiniones. Según Tubino, era muy distinto en tiempos de D. Pedro: no tenía las galerías actuales, era un simple espacio rectangular con puertas y ajimeces en la parte baja de sus muros y celosías en la parte superior⁹⁷. Sufrió importantes transformaciones en el siglo XIX de la mano del arquitecto Rafael Contreras (Marín, 1998).

SALÓN DE EMBAJADORES

Este salón cuadrado y cubierto con cúpula, era la vieja “Qubbah” perteneciente al palacio de los abbaditas llamado de Al-Muwarak, siendo precisamente su Salón del trono. En el siglo XI era una pieza exenta orientada hacia poniente, e iba precedida de un pórtico posiblemente tripartito y su entrada principal sería el actual Arco de los Pavones, por tanto a este siglo, se debe la articulación de sus paredes con las triples arquerías de herradura inscritas en alfiz sobre columnas de mármol rosa y capiteles califales.

⁹⁷ “Basa esta hipótesis en el descubrimiento en el zaquizamí del alfarje que actualmente decora las galerías bajas, en este espacio encontró, en el muro sur donde se abre la puerta del salón de Carlos V, seis arcos posiblemente ornamentales, con arquivoltas de medio punto y arrabales decorados...”

En el siglo XIV se remodeló, abriéndose una puerta al patio de las Doncellas, cambiándosele su orientación, aunque siguió teniendo el mismo uso: Salón del Trono del monarca castellano. Sus paredes se cubren en esta fecha con los paños de alicatado que dibujan temas de lazo. También son de este período las espléndidas puertas (de gorronea decoradas con lacerías en estrella de doce puntas) con postiguillos, conservándose en ellas la fecha de realización (1366) y quienes la llevaron a cabo, que fueron artífices toledanos.

Destacar así mismo la rica ornamentación de yeserías a base de temas geométricos, atauriques, veneras, símbolos heráldicos e inscripciones, que revisten los paramentos de esta estancia. Motivos vegetales cubren los ángulos de la estancia y decoran las enjutas del arco polilobulado, que enmarcan arcos de herradura, sobre los que se disponen tres celosías caladas con elementos geométricos (Hernández y Morales, 1999) (Fig. 33). Rematan el conjunto dos frisos, uno inferior de cuarenta y cuatro arquitos cerrados por celosías ciegas, y otro superior con una labor de lacería formando medias estrellas de ocho puntas con atauriques, en las que se inscriben los escudos castellanos y la Orden de la Banda.

Resaltar también, la cúpula leñosa o Media Naranja, labrada en 1427 por Don Diego Ruiz, que sustituyó a la antigua de los abbaditas. Durante los años 1478 y 1479, tras la presentación y bautizo del príncipe Don Juan, hijo de los Reyes Católicos, se sustituyó una basa de mármol y se rehicieron las figuras de dos reyes, restaurándose otras piezas y figuras que faltaban, de la serie de reyes de Castilla que rematan las paredes de la sala. En torno a 1590 se abren los cuatro balcones en la zona alta del Salón de Embajadores y se restaura su cúpula (1599-1600) (Marín, 1992).



Figura 33. Enjutas del arco polilobulado que enmarcan arcos de herradura con tres celosías caladas sobre ellos

En previsión de la frustrada visita de Felipe III, en el tránsito del siglo XVI al XVII, se pintó la serie de retratos de los reyes de España (posiblemente en sustitución de otra serie más antigua), añadiéndoseles unos enigmáticos retratos de damas (Lleó, 2002). Durante la época isabelina, y más concretamente en 1858, continuaron las labores de pintado y adorno de este Salón, que habían sido suspendidas el año anterior (Mérida, 2000), aunque se desconoce la extensión y profundidad de esta intervención.

EL CUARTO REAL O DORMITORIO DE LOS REYES MOROS

Debe su nombre a su posible utilización como dormitorio real. El acceso se realiza desde el patio Doncellas, por un gran arco de medio punto peraltado con tres ventanas de celosía calada y rodeada por inscripciones. La Sala consta de dos partes, la primera un salón con frisos de yeserías y techumbres de alfarje de comienzos del siglo XVI y la alhanía o alcoba, espacio cuadrado utilizado como dormitorio que se cerraba por medio de cortinas que colgaban del arco peraltado, sobre columnas con capiteles de mármol blanco, que le sirve de separación (Hernández y Morales, 1999) (Fig. 34). En tiempos de los Reyes Católicos se repararon sus puertas, extraordinaria obra de carpintería mudéjar, talladas por artífices toledanos en 1366 (Morales y Serrera, 1999). Fue enjalbegado en 1813 (Ford, 1980 [1845], pág. 232) con lo que quedaban invisibles los estucos en azul y oro, respondiendo a ello los imperativos del gusto neoclásico (Cómes, 1996), posteriormente eliminados (estos enlucidos de cal) durante el período isabelino (1843-68) para recuperar las yeserías ocultas. Tallistas y estuquistas se ocuparon de vaciar los adornos y formar los nuevos.

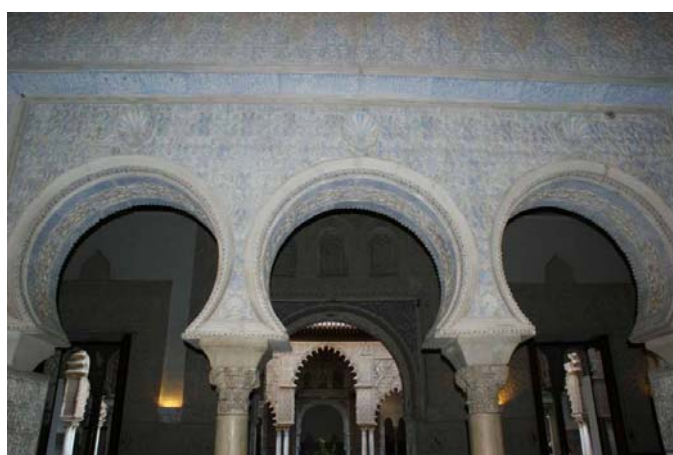


Figura 34. Arcos peraltados sobre columnas y capiteles de mármol

EL CUARTO DEL PRÍNCIPE

Recibe este nombre por alusión al hijo de los Reyes Católicos, Don Juan, nacido en este Alcázar en verano de 1478. La sala está distribuida en un espacio central y dos alhanías, con un interesante conjunto de artesonados y yeserías. De este cuarto puede accederse directamente al jardín del príncipe (Fig. 35). También se intervino en esta Sala, bajo la dirección del profesor de pintura Joaquín Cortés, entre otros.



Figura 35. Arcos angrelados que separan la sala central de las alhanías

PATIO DE LAS MUÑECAS

Las yeserías de la galería, realizadas por artesanos enviados por Muhammad V, entremezclan los atauriques y la sebqa que se rematan con un friso de arquitos polilobulados (Fig. 36). En tiempos de los Reyes Católicos se repararon sus yeserías y los alicatados de las galerías.



Figura 36. Atauriques y sebqa rematadas con friso de arkitos polilobulados

Entre los siglos XVI y XVII se construyó la galería superior y se renovó en 1833, quedando escasas yeserías originales en los paños de sebka de la planta baja, construyéndose en obra nueva la planta alta.

En 1843 se llevó a efecto un proyecto de restauración de este patio por el arquitecto D. Juan Manuel Caballero y en 1850, se realizaron otros vaciados para la parte alta del mismo utilizando modelos de la Alhambra (Cómez, 1996). Entre 1854 y 1855 se aprobó la construcción de una montera, así como la restauración de las yeserías, además de la conclusión de la balaustrada (Mérida, 2000), posteriormente, durante la década de los sesenta se volvería a reconstruir ésta, destrozada por un fuerte temporal en 1860.

SALA DE LOS REYES CATÓLICOS

Esta Sala es de planta cuadrada, comunica con el patio de las Muñecas y con el Salón del Techo de Felipe II, sirviendo de enlace entre la zona doméstica y la oficial del palacio (Fig. 37) y ostenta en su decoración la heráldica y la emblemática reales. El arco de acceso al jardín denominado del Príncipe, así como sus yeserías fueron realizadas en el siglo XIX, copiando las formas de otros elementos del palacio.



Figura 37. Arco angrelado que separa la sala con el Patio Muñecas de la zona privada

SALA DEL TECHO DE CARLOS V

Hacia 1540-1545, se labra la nueva techumbre artesonada de la antigua capilla, en la planta baja, por el maestro carpintero Sebastián de Segovia, pasando a denominarse salón del Techo de Carlos V. Es uno de los mejores artesonados del palacio, con rica decoración clasicista de bustos de damas y caballeros y emblemas imperiales que en su origen debía de refulgir de oros (LLeó, 2002) (Fig. 38).

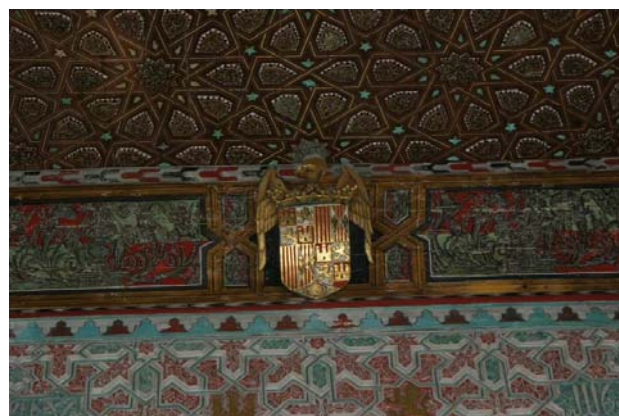


Figura 38. Encuentro del artesonado con la decoración de la Sala

SALA DEL TECHO DE FELIPE II

Del siglo XI conserva una triple arquería de herradura y las columnas califales, mientras que la ornamentación es de la época de Pedro I (Fig. 39). A finales del siglo XVI se dotó de un nuevo techo artesonado, dándole nombre a esta sala.



Figura 39. Triple arquería de herradura que separa la Sala del Salón de Embajadores

PALACIO ALTO. DORMITORIO DEL REY DON PEDRO Y LA SALA DE AUDIENCIAS

El dormitorio del rey y la Sala de audiencias son del siglo XIV, aunque parte de sus labores de yeso fueron intervenidas a mediados del siglo XVI, durante ese siglo se transformó la práctica totalidad de ellas, si bien la mayoría aún conservan sus primitivas techumbres de madera. Las paredes del dormitorio (Fig. 40) y la Sala de Audiencias (Fig. 41) son de yesería policromada, con zócalos de azulejos entrelazados de lacería, en la parte baja.

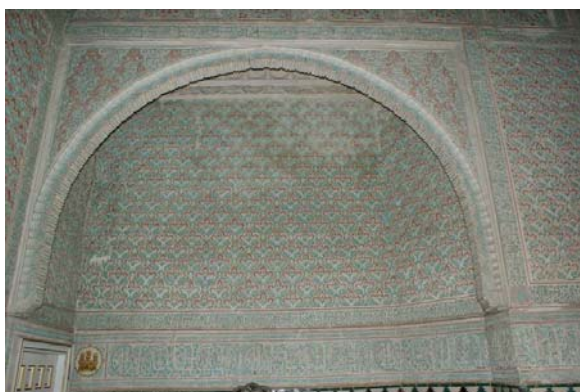


Figura 40. Arco angrelado y yesería de ataurique de uno de los paramentos del dormitorio del Rey D. Pedro



Figura 41. Esquema tripartito de la Sala de Audiencias, con sebqa y ataurique en sus paramentos

PATIO DEL SOL

Llamado del tenis en época moderna, porque un alcaide en tiempos de don Alfonso XIII había mandado pavimentarlo y poner en el centro una red. Ocupa el frente norte del patio de la Alcubilla y siempre fue un espacio doméstico y muy abandonado de la propia vivienda del Director Joaquín Romero Murube, que ocupaba como vivienda la parte alta del apeadero (hoy salón de exposiciones).

Las construcciones que ocupan el frente norte del patio de la Alcubilla o patio del Tenis formaban parte del llamado Cuarto del Sol. De las construcciones medievales que integraron este sector del Alcázar, se conserva parte de una arquería mudéjar en el acceso que al mismo se realiza desde el Apeadero (Hernández, 1999).

El ala izquierda del apeadero, que daba al patio del tenis y al patio del Alcaide, el patio del Sol antiguo, lo convirtió en vivienda D. Rafael Manzano Martos, organizó aquellos patios y llevó a cabo una exploración arqueológica que permitió encontrar los restos mudéjares del antiguo cuarto del Alcaide que son incluso más antiguos que los del palacio de don Pedro y una arquería del siglo XVIII⁹⁸ (Fig. 42).



Figura 42. Arcos mudéjares junto a la arquería del s. XVIII

⁹⁸ Manzano Martos, Rafael, *Los Conservadores Municipales del Real Alcázar*, Patronato del real Alcázar de Sevilla, 2003

EL CENADOR DE LA ALCOBA

Pabellón cúbico remodelado en tiempos del Emperador (1543-1546), está rodeado de galerías de arcos de medio punto sobre columnas de mármol limitadas por bancos de fábrica forrados de azulejos. El edificio cúbico se reviste por dentro y fuera de paños de azulejos, rematándose todo ese alto zócalo con yeserías mudéjares en el exterior y otras de estilo plateresco en el interior. El conjunto se cubre con una cúpula de casetones y posee una solería donde aparece inscrito el nombre de Juan Hernández, arquitecto que ejecutó esta obra y la fecha de terminación de la misma, donde destaca también la planta de un laberinto, quizá del que pudo existir en el Alcázar durante el siglo XVI (Fig. 43).



Figura 43. Edificio cúbico con yeserías mudéjares y paños de azulejos exteriores

2.3.- Antecedentes arquitectónicos de las Yeserías del Alcázar

2.3.1- Arquitectura y Yesería Almohade referida a las zonas de estudio

La cultura elaborada por el califato cordobés será la base de todo el desarrollo artístico posterior, tanto en al-Andalus como en el Magreb.

Previo a la irrupción del arte almohade en la península ibérica, la gran innovación almorávide inmediatamente anterior a nivel constructivo va a ser, la sustitución de las columnas de mármol u otras variedades pétreas, por pilares de ladrillo de diversas formas (cuadrados, rectangulares, en forma de “T” o cruciformes) sobre los que arrancan los arcos de herradura apuntados, lobulados o mixtilíneos.

“El pilar de ladrillo daba mayor estabilidad que la columna a las naves y permitió sustituir los tirantes de madera de las hipóstilas, o los arcos superpuestos, excepcionales, de la de Córdoba.”⁹⁹

A nivel de detalle, es en época almorávide cuando comienza a utilizarse el motivo serpentiforme, que situado en el arranque de los arcos los sobre-elevaban otorgándoles una gran elegancia¹⁰⁰

En el Arte Almohade por tanto, se impone el ladrillo como material constructivo, confeccionándose con ellos los arcos de herradura y apoyos de pilares, sustituyendo a las columnas de etapas anteriores, aunque perviviendo en los palacios como material califal reutilizado, basas, fustes y capiteles, cuyas reducidas dimensiones obligaban a una escala más reducida de los nuevos arcos. Permanece el patio rectangular con maylis añadidos en los lados menores precedidos por el pórtico abierto de número variable de arcos (cinco o a lo más siete) con pilares de ladrillo.

El alzado con arquerías de arco central destacado, presidió la arquitectura almohade del siglo XII (ver Fig. 30), con doble o triple arco de la entrada del maylis o salas de honor y otro monumental envolviéndolos, correspondiente al arco central del pórtico delantero, pasando este esquema en clave decorativa a las ventanas de los grandes alminares como el de la Giralda de Sevilla. Estas ventanas y los arcos remontados de sebka serán característicos del arte almohade. Las portadas de los mihrabs con arco y friso de ventanas de medio punto encima, se adoptan en las entradas de los maylis de los

⁹⁹ Torres Balbás, 1955. Pág. 11-12

¹⁰⁰ López Guzmán, 1995. Pág. 115, de *La Arquitectura del Islam occidental*

palacios y casas nobles, como en la portada interior del patio del Yeso, que posteriormente, también quedaría reflejada en el Palacio mudéjar de Pedro I. En cuanto a los arcos, destacar: el arco lobulado con ganchos o rizos intercalados con la palmeta en “S” en el arranque (la palmeta nace en la arquitectura almorávide) y tipos “SS” de arranques de arcos almohades del patio del yeso (Pavón 2004).

El esquema seguido en el muro norte del patio del Yeso es menos avanzado que el anteriormente descrito (pórtico sur del patio del Yeso), pues presenta una triple arcada de piedras labradas o dovelas alternadas y huecos superiores de herradura que remiten a un modelo habitual en Madinat al-Zahra, que se generalizó en época taifa¹⁰¹ (Fig. 44) (Hernández 1999).



Figura 44. Muro norte del patio del Yeso con triple arcada de piedras labradas y huecos superiores de herradura

En lo referente a las yeserías, disminuyó la riqueza de etapas anteriores (taifa y almorávide)¹⁰². La palmeta digitada con arillos intercalados se hizo más austera, caracterizada por la línea incisa añadida en la curva inferior.

La fachada norte del patio del Yeso, anteriormente descrita, se atribuye con reservas al siglo XI. En cuanto a la fachada sur, la hipótesis más extendida se atribuye al arte almohade. El modelo de yesería de esta fachada del patio del Yeso, deriva de las fachadas de la Giralda (Fig. 45), donde se pueden observar arcos de herradura, de lóbulos, de cintas entrelazadas, de lambrequines, y arquerías ciegas sobre columnas califales reutilizadas¹⁰³, con arcos de hojas entrelazadas en paños de *sebka* enmarcados.

¹⁰¹ En origen, debió existir delante de este muro otra galería porticada similar a la descrita

¹⁰² La tan comentada austeridad almohade en las yeserías es quebrantada excepcionalmente en el arco de la puerta del Perdón de la Mezquita mayor de Sevilla

¹⁰³ “A juzgar por una columna primitiva con capitel califal aprovechada del pórtico las restantes serían del mismo porte que con este criterio fueron repuestas modernamente las que vemos hoy todas con capiteles decorados omeyas de los muchos existentes en el Alcázar” (Pavón, 2004)

Se fecha en la última década del siglo XII y su autor fue Ali al-Gumari (Manzano, 1999).



Figura 45. Fachada de la Giralda

El arco central de lambrequines, descansa en robustos pilares de ladrillo de los que parten las dos anchas calles laterales del alfiz (procedente de modelos norteafricanos clásicos con arranque serpentiforme “S”, seguido de lóbulos poco acentuados con ganchos o rizos intercalados)¹⁰⁴ y la sebka menuda y mal trazada de sus enjutas, con dos esquemas yuxtapuestos con palmetas trabadas por sus remates rizados superiores, denota la mano de un yesero poco experimentado. Los arcos de los módulos laterales¹⁰⁵, se apoyan en columnas califales¹⁰⁶, salvando vanos triples de arcos de hojas con perfil de palmas almohades, siendo la *sebka* sobria y elemental, toda de yeso calado, por encima de las claves hasta cubrir completamente la caja rectangular del alfiz, resaltada en su cara externa por una simple cinta y duplicándose en los ejes de las columnas; sobresalen las “SS” de los arranques de los arcos con palmetas de dos hojas adheridas¹⁰⁷.

2.3.2.- Arquitectura y Yesería Mudéjar referida a las zonas de estudio

Reyes y Clero se instalan en solares regios o religiosos del árabe vencido y se construye con nuevos ornamentos de estilo árabe por artesanos de familias de alarifes¹⁰⁸. Por ello, los orígenes del mudéjar están estrechamente relacionados con el proceso de

¹⁰⁴ Con solución en la clave de arquillo de lambrequines o acortinado de lóbulos erectos en vertical, recordando arcos mixtilíneos de la mezquita de Tinmall (Pavón, M. 2004)

¹⁰⁵ También apuntados con lóbulos y rizos intercalados prolongados en composición de sebka

¹⁰⁶ Los fustes actuales se colocaron en la restauración del marqués de la Vega-Inclán

¹⁰⁷ Responde a tipología entronizada en las puertas almohades de Rabat y ventanas del alminar de Hasan de esta ciudad

¹⁰⁸ Desde la Capilla de la Asunción (Alfonso VIII) y el Claustro de San Fernando de las Huelgas de Burgos (Fernando III), pasando por el Palacio de Tordesillas y la Sala de la Justicia del Alcázar de Sevilla (Alfonso XI), culminando con el palacio de Pedro I del Alcázar y cerrando con la capilla Real de la Mezquita Mayor de Córdoba (Enrique II), síntesis del arte hispanomusulmán y mudéjar

conquista y repoblación que los reinos cristianos ejercen sobre el territorio de al-Andalus. La conquista de Toledo (1085) supone el punto de arranque del arte mudéjar, donde las capitulaciones permitieron la permanencia de un nutrido grupo de mudéjares, y la conservación del patrimonio monumental califal y taifa pusieron las bases de un referente estético permanente, a la que se unió la influencia almohade de los mozárabes huidos de Andalucía (hasta 1240) (Fernández, Ravé y Respaldiza, 1999).

Por tanto, el mudéjar en su origen y desarrollo es adopción cristiana del arte árabe andaluz al que se le fueron añadiendo improntas del pasado árabe sevillano y nuevas aportaciones cristianas, es decir, un arte ecléctico en permanente evolución, síntesis del arte árabe y cristiano. En el mudéjar sevillano se evidencia un almohadismo tardío, con reflejos abbadíes y califales. El Palacio de Pedro I (1364-1367) y el de los Leones de Muhammad V (1362-1369) prueban la vecindad política y amistad entre los dos soberanos, que quedan reflejadas en los intercambios artísticos (1364-1367) observados en las yeserías de ambos palacios.

Muros y soportes son casi siempre de ladrillo, empleándose en algunos casos, para los muros maestros, el tapial, donde el conjunto iba siempre enlucido y enjalbegado. El pilar más utilizado es el cruciforme, derivado del de la arquitectura almohade, con versiones comarcales (pilares con semicolumnas o ochavados), sobre el que apean arcos apuntados, con impostas molduradas. Algunos templos ostentaron primitivamente arcos de herradura apuntada a la manera almohade, presentándose estos escasos ejemplares, en zonas de especial influencia islámica (San Marcos de Sevilla) o en edificios islámicos convertidos en iglesias.

En cuanto a la decoración, aunque aparece siempre como elemento superficial (alicatados, yeserías, etc.) sobrepuesto a la estructura, es un componente esencial tanto para su concepción como para la disposición de sus alzados e interiores. Las formas decorativas, ubicación, ordenamiento y proporción dependen del arte islámico, pero ingredientes formales islámicos como la epigrafía, atauriques, lacería, etc., se mezclan con otros procedentes de la tradición cristiana.

La sala de la Justicia

Ocupa el frente de poniente del patio del Yeso, con su construcción se inicia la remodelación del patio almohade pudiendo haber sustituido a otra cuadrada más pequeña del siglo XII (Tabales 2003). Edificio de planta cuadrada con arco de entrada

hacia el patio del yeso, en sus lados se configuran tres nichos con arcos de medio punto, cubriendo mayor luz los del centro, con aspecto exterior semejante al de la sala de las Dos Hermanas del palacio de los Leones de la Alhambra¹⁰⁹.

Sus yeserías son mudéjares sevillanas de tradición almohade, encontrándose presente el emblema de la Orden de la Banda¹¹⁰. Se accede a la sala desde el exterior, por un arco peraltado de medio punto¹¹¹ con celosías ciegas y lazo de 12 en la central de ascendencia granadina (Pavón, 2004) y sistema hexagonal con estrellas de seis puntas en las laterales¹¹².

Las jambas interiores del arco están, recubiertas con yeserías de tres arcos acortinados de aspecto almohade, ataurique de palmetas lisas con roleos de fondo, logotipo cúfico también de aspecto almohade y motivo vegetal de dos palmetas gemelas y otra central con puntas enroscadas (ver Fig. 31). Entre la jamba y el intradós del arco, un friso de mocárabes con logotipos cúficos, cubriéndose el intradós con palmetas lisas, floreadas y digitadas compactas de tradición almohade.

En las enjutas del arco de ingreso en el cuerpo central, losange o sebka, friso de tres arcos acortinados y el mismo estilo en el intradós del arco. En las calles laterales palmetas más depuradas, con relleno de acantos y bordes de circulillos y otras digitadas de aspecto almohade. Cenefas estrechas en la portada y alfices de los arcos de los nichos con logotipos cúficos. Los paños laterales de los arcos arrancan con ménsulas en cartabón con palmetas enroscadas e interior con motivos vegetales de palmetas lisas. Los arcos de los nichos con finos angrelados, enjutas ocupadas por roleos y palmetas denticuladas con disco en el centro (Fig. 46). En los paños de los alfices, arquillos superpuestos y anudados.

Un ancho paño liso sin yeserías entre los arcos y las ventanas superiores de medio punto que presentan un friso de arquillos lobulados entrelazados a imitación del primer cuerpo de la Giralda, celosías de lazos con parejas de ventanas fingidas más pequeñas con celosías rodeadas de cartelas con puntas y estrellas de ocho puntas de ascendencia almohade.

¹⁰⁹ Esta disposición cuadrada con triples arcos también se refleja en la Capilla Dorada del palacio de Tordesillas

¹¹⁰ Instituida por Alfonso XI en 1331, la Orden de la Banda es un signo orientador para la cronología de los edificios mudéjares o árabes, debido a la convivencia arabocristiana existente entre 1362 y 1391 durante el segundo reinado de Muhammad V. Alfonso XI lo utiliza también en el Castillo de Alcalá de Guadaira y en la reforma de los patios del León y Montería del Alcázar. En la Capilla Real de la Mezquita mayor no figura esta Orden quizá debido a las luchas dinásticas sostenidas entre Pedro I y Enrique II

¹¹¹ Al igual que las portadas granadinas del siglo XIII

¹¹² Vista en la decoración almorávide y primer mudéjar toledano del siglo XIII

Esta qubba, según Carriazo, aprovecha antiguas estructuras almohades, atribuyendo su construcción al reinado de Alfonso XI por su semejanza con la Sala de Comares de la Alhambra y por el escudo de la Orden de la Banda instaurado por Alfonso XI, aunque por otro lado según Cómez, “el análisis estilístico de la decoración revela concomitancias a las estancias del palacio de Don Pedro” y sus inscripciones son similares a las del Salón de Embajadores y Alcoba Real, además de que la Orden de la Banda aparece profusamente en el palacio del rey Don Pedro.



Figura 46. Angrelados con enjutas ocupadas por roleos y palmetas denticuladas con disco en el centro

El Patio de las Doncellas del Palacio de Pedro I difiere de los de cruceros árabes además de en sus dimensiones, en la existencia de los cuatro pórticos¹¹³, inéditos hasta entonces; aunque se mantiene el agrupamiento de arcos con los centrales de mayor tamaño, evocando el pórtico del patio del Yeso o el de Comares de la Alhambra, etc. Los arcos de los pórticos son lobulados y apuntados en arquería corrida sin alfiz individualizado (Fig. 47), con trama en losange desde el asiento de los arcos a la línea horizontal del alfiz común (Fig. 48).

¹¹³ Los de crucero árabes con dos pórticos en sus lados menores



Figura 47. Arcos de herradura apuntados y polilobulados más grandes y peraltados los centrales



Figura 48. Palmetas floreadas y manos cerradas sosteniendo vegetales

Los centrales irían apoyados sobre pilares de ladrillo, quedando en duda si los demás serían de ladrillo y estuco¹¹⁴ o columnas reutilizadas con acarreo al Grutesco de los jardines, donde la restauración del siglo XVI dotó a las arquerías de las actuales columnas pareadas renacentistas de mármol. Estas reformas, apenas afectaron a los paños de losanges de las arquerías, técnicamente atribuibles en parte a alarifes

¹¹⁴ En relación con los patios de casas mudéjares toledanas o sevillanas de la época

sevillanos y a toledanos por otra, como lo demuestran las palmetas floreadas y manos cerradas sosteniendo vegetales¹¹⁵.

Jerónimo Münzer en 1494 informa que se había enlosado el Alcázar esperando la llegada del rey Fernando quien “había construido muchas nuevas estancias y restaurado algunas antiguas que ya se desmoronaban (García, 1952, pág. 375). La participación de yeseros granadinos solo se localiza en la Sala cuadrada del salón de Embajadores.

Los lados del patio se rematan en la parte superior, por un ancho friso entre los que aparecen inscripciones como: “*lor a Alá por sus beneficios*” o “*gloria a nuestro señor*”, correspondiendo todas ellas a las obras de tiempos del rey Don Pedro I. Entre éstos se colocan los escudos de Castilla y León, de Carlos V, de la Orden de la Banda ya mencionada y la empresa de las columnas de Hércules con el lema “*plus ultra*” (Hernández y Morales, 1999). En las jambas de los arcos centrales aparecen temas renacentistas¹¹⁶, entre los que destacan los balaustres platerescos, figuras de damas, copas, guirnalda, cabezas de angelotes y cartelas con inscripciones.

A este Patio se abren tres grandes salones:

El Dormitorio de los Reyes Moros o **Cuarto Real**, el Salón del Techo de Carlos V y el Salón de Embajadores o Salón del Trono.

El primero ocupa el frente septentrional del patio, accediéndose al mismo a través de un arco de medio punto peraltado con tres ventanas de celosía calada y rodeada de inscripciones. La sala consta de dos partes: un salón con frisos de yeserías y techumbre de alfarje de principios del s. XVI, con dos ventanas geminadas que comunican con la galería del patio, en cuyo testero de la derecha se halla la alcoba o espacio cuadrado que se cerraba con cortinas que colgaban del arco peraltado, sobre columnas con capiteles de mármol blanco, que le servían de separación y una cámara con dormitorio, cuyo acceso desde el salón se realiza, a través de tres arcos de herradura sostenidos por columnas con capiteles califales enmarcados por un alfiz con tres ventanas de celosía calada, decorado todo con yeserías de ataurique (ver Fig. 34).

La Sala del Techo de Carlos V, fue utilizada como capilla del palacio mudéjar, según demuestra la oración que rodea la puerta de ingreso, cuya composición es atribuida

¹¹⁵ Inauguradas en la sinagoga de El tránsito de Toledo. También es un tema reiterado en El castillejo de Murcia, Capilla de la Asunción de las Huelgas de Burgos y Capilla real de Córdoba, entre otros

¹¹⁶ Estas obras renacentistas fueron realizadas entre 1567-69, bajo el reinado de Felipe II, siendo al autor de las mismas el maestro alarife Francisco Martínez (Hernández y Morales, 1999)

indistintamente a San Buenaventura o a San Ildefonso de Toledo (Hernández y Morales, 1999). La techumbre que le da nombre, se realiza entre 1541 y 1543, siendo atribuido su artesanado de casetones octogonales y cuadrados, a Sebastián de Segovia. El salón se divide en dos partes separadas por un arco con yeserías, la más pequeña usada como presbiterio, pasó posteriormente a utilizarse como alcoba (Fig. 49). Destacar de esta sala los dos ajimeces que dan al patio y que mantienen la decoración original del siglo XIV. Completa la decoración de esta sala el zócalo de alizares, sobre el que corre un friso donde alternan castillos, leones, escudos de la Orden de la Banda y una inscripción cúfica: “*gloria a nuestro señor el sultán Don Pedro ¡protéjale Alá!*”.



Figura 49. Arco de yesería que separa las dos zonas

El Salón del Trono o **Salón de Embajadores**, antiguo salón del trono del palacio abadí del reino taifa de Al-Motamid en el siglo XI cuyas estructuras aprovechó, restauró y decoró Pedro I de Castilla (Guerrero, 1974), es el verdadero centro del palacio, que se manifiesta al exterior por la cúpula en casquete esférico de madera que lo cubre¹¹⁷. Qubba de ricas yeserías con alabanzas a Alá y su protegido Pedro I.

Motivos vegetales cubren los ángulos de la estancia y las enjutas del arco polilobulado, que enmarcan los arcos de herradura que separan las salas colaterales y la trasera (Sala del Techo de Felipe II), sobre los que se sitúan tres celosías caladas con elementos geométricos (ver Fig. 35). Estos triples arcos de herradura alojados a su vez bajo otros

¹¹⁷ Realizada por Diego Ruíz en 1427

grandes arcos de herradura, son una reminiscencia del denominado salón Rico de Madinat al Zhara.

Las columnas y capiteles de la estancia son califales. En la parte alta de los muros de sus estancias laterales corre un friso de yeserías formado por medallones lobulados entre decoración de ataurique y epigráfica de la que arranca un arcoabe de mucarnas.

Otra estancia entre las dedicadas a actividades oficiales, y la más larga de todo el palacio mudéjar, es el salón de la Media Caña o del **Techo de Felipe II**, aludiendo a la curvatura del artesonado que la cubre o a su realización en tiempos de este monarca. Techumbre manierista atribuida a Martín Infante, formada por casetones cuadrados con relieves interiores.

La parte más sobresaliente de la sala es la decoración del primitivo acceso a la sala central del conjunto de las pléyades del antiguo palacio abbadí. En su rica yesería se perfila un original muestrario de motivos mudéjares, combinándose con los de origen musulmán, atauriques, inscripciones cúficas o lacerías, con pámpanos, roleos, siluetas de aves, y otros más orientalizantes, inspirados en los tejidos persas, como los pavos reales que aparecen en las enjutas y dan nombre al arco, de los Pavones¹¹⁸ (Hernández y Morales, 1999) (ver Fig. 39). La estancia se completa con zócalo de azulejos mudéjares y solería original, restaurados ambos elementos en 1896 por José Gómez de Otero.

La zona privada del palacio se organiza en torno al **Patio de las Muñecas**. Es de reducidas dimensiones y está rodeado de una galería con frentes asimétricos cuyos arcos descansan sobre columnas y capiteles califales, alternando las realizadas en mármol blanco con las de color negro y rosado, procedentes de Madinat al Zahra y traídas a Sevilla por Al-Mutamid (Hernández y Morales, 1999). Las yeserías que adornan la galería fueron realizadas por artesanos enviados por Muhammad V, entremezclando los atauriques y los paños de sebqa, rematándose con un friso de arquitos polilobulados (Fig. 50). A esta decoración pertenecen cuatro cabecitas, situadas en el arranque del arco más próximo al corredor que da al vestíbulo de entrada al palacio y que dan origen al nombre del patio.

¹¹⁸ Estas figuras de aves se relacionan con las representaciones de aves del palacio de Tordesillas



Figura 50. Detalle de la sebqa y ataurique del patio Muñecas

Este patio comunica en su galería norte con el **Cuarto del príncipe** o Dormitorio de la Reina, sala larga y estrecha, con sus extremos rematados por alcobas, cubierto todo, por techumbres distintas de lacería morisca y de artesones renacentistas. Las dos alhanías están separadas del espacio central por sendos arcos angrelados decorados con yesería de ataurique. Se sabe que el artesonado de la Alcoba de la izquierda, según consta en el arrocabe, se realizó por D. Juan de Simancas en 1543 (Hernández y Morales, 1999). (Ver Figura 35.)

A un lado del patio se abre la **Sala de los Reyes Católicos**, que comunica con el Salón del Techo de Felipe II, de planta cuadrada y labores de yesería mudéjar en frisos y marcos de puertas. Su solería de ladrillo y olambrillas es original del siglo XIX y su techumbre es de lazo taraceado. Su arrocabe incorpora los emblemas heráldicos de los Reyes Católicos¹¹⁹, por lo que debió ser realizado tras la conquista de Granada, ya que la fruta símbolo de la antigua capital nazarí aparece en los escudos y paneles pintados junto a los motivos renacentistas de candelabros (Hernández y Morales, 1999) (ver Fig. 37).

En lo que se refiere a las estancias estudiadas del denominado palacio Alto, el Dormitorio del rey Don Pedro y la Cámara de Audiencias, son las únicas que conservan su estructura original. En tiempos de los Reyes Católicos se añadieron otras habitaciones y se transformaron casi todas ellas durante el siglo XVI.

El dormitorio del rey Don Pedro es de planta cuadrada y originalmente contaba con dos alcobas, conservándose los zócalos de sus muros, revestidos con alicatados con motivos de lazo y una gran parte de sus yeserías (Fig. 51). Su techumbre de madera es una

¹¹⁹ Escudos de Castilla y Aragón con el águila de San Juan, el yugo, el haz de flechas y el lema "*tanto monta*"

armadura de limas con motivos de lazo en su almizate, constituyendo una muestra de la carpintería mudéjar de la primera mitad del siglo XV.

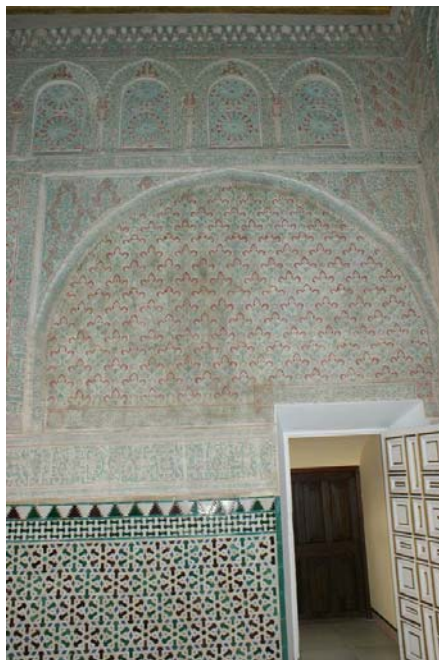


Figura 51. Alicatados con motivo de lazo y yeserías

En cuanto a la **Sala de Audiencias**, sus muros tienen una organización tripartita, separadas mediante arcos apoyados en columnas de mármol de distintos colores y capiteles califales y renacentistas. El zócalo cuenta con alicatados originales polícromos, mientras el resto de sus paramentos posee menudas labores de yeso con motivos de ataurique y epigráficos, además de mocárabes (Fig. 52). La estancia se cubre con techo de madera con motivos de lazo, realizada en 1909 por José Gómez Otero (Hernández y Morales, 1999).



Figura 52. Organización tripartita de la Sala con columnas de mármol y labores de yeso

Es de destacar dentro de la arquitectura y yeserías mudéjares, en el **Jardín de la Alcoba**, el cenador creado en el siglo XVI, al transformarse la antigua qubba musulmana, como pabellón de gran valor simbólico destinado a proclamar el nombre del emperador Carlos V (Hernández, 1999). Fue transformado entre 1543 y 1546 por Juan Hernández, creándose una simbiosis entre elementos mudéjares con otros renacentistas, siendo de destacar el pavimento y zócalo interior de azulejos, así como los frisos de yeserías tanto interior como exterior del edificio (Ver Figura 43).

El Patio del Sol, también llamado del tenis en época moderna, porque un alcaide en tiempos de don Alfonso XIII había mandado pavimentarlo y poner en el centro una red. Abarca el frente norte del patio de la Alcobilla y siempre fue un espacio doméstico y muy abandonado de la propia vivienda del alcaide (Manzano 2003), que ocupaba como vivienda la parte alta del apeadero (hoy salón de exposiciones).

El ala izquierda del apeadero, que daba al patio del tenis y al patio del Alcaide, el patio del Sol antiguo, lo convirtió en vivienda D. Rafael Manzano Martos, organizó aquellos patios y llevó a cabo una exploración arqueológica que permitió encontrar los restos mudéjares del antiguo cuarto del Alcaide que son incluso más antiguos que los del palacio de don Pedro y una arquería del siglo XVIII (Manzano 2003) (Ver Figura 42).

2.4.- Otras aportaciones Documentales

SOBRE EL PATIO DEL YESO

Vicente Traver y Tomás, en su libro sobre “*El marqués de la Vega-Inclán, Comisario Regio de Turismo y Cultura Artística Popular*” (Castellón, 1965), se refiere al patio del yeso de la siguiente forma: “comenzó a descubrir y consolidar todo aquello que Tubino adivinó, y con labor de limpieza, desescombros y consolidación dirigidas por el Arquitecto D. José Gómez Millán y que ocasionaron poco gasto quedó al descubierto tan interesante patio.....se limpió la sala de justicia y fue encontrada parte de la alberca que decoraba el patio, y en ella tinajas esmaltadas que pudieron ser reconstruidas”, donde describe que estas actuaciones se realizaron en 1913.

Este extremo queda reforzado por el libro *Guía Artística de Sevilla* de Gestoso publicado en 1926, que presenta una fotografía de 1912 de la fachada del Patio del Yeso, descubierta por Tubino a finales del XIX (Ver Fig. 55).

Por otro lado, Lorenzo Polaino Ortega escribe en el apéndice denominado “Don Juan de Mata examinado” del libro, *Juan de Mata Carriazo y Arroquia. Perfiles de un Centenario* (Utrera. Sevilla, 2001), lo siguiente: “Estudios muy representativos de mi formación y de mis preferencias son aquellos en los que se combinan y se explican recíprocamente la Historia y la Arqueología. Así, *La Atalaya de Tíscar y el Infante don Enrique, publicada en 1926,....y el Alcázar de Sevilla de la colección El Arte en España de 1930*”. Este último libro de Juan de Mata (de 1930) presenta unas fotografías del patio del Yeso, que con enredaderas o sin ellas, anteriores o contemporáneas a la confección del libro, nos muestran un estado del patio y del pórtico meridional, con el arco central y los módulos laterales de arquería con paños de sebka sin restaurar y con rellenos de ladrillos de diversos tipos como labor de consolidación, por lo que se puede deducir que los trabajos del Marqués en este patio no llegaron a contemplar la restauración de la arquería y la sebka, limitándose a la reposición de los fustes y capiteles reutilizados que faltaban, como apoyo de los arcos, y a los trabajos de desescombros y consolidación del mismo.

Este extremo queda igualmente reforzado, por las fotografías recogidas en la *Guía Artística de Sevilla* de Gestoso, tras la intervención del marqués de la Vega Inclán, fechadas entre 1918 y 1920 (Ver Fig. 56. Imagen de archivo del ABC).

Así pues, la restauración de las sebkas, serían realizadas por conservadores de época posterior y más concretamente, por Rafael Manzano entre 1969 y 1971, como él mismo nos indica en su libro sobre *Sevilla Almohade* (1999) (Ver Fig. 57 Imagen actual desde la intervención de Manzano).

SOBRE EL PATIO DEL SOL

Morales, A.J. y Hernández, J.C. nos revelan en su texto sobre el *Real Alcázar de Sevilla* (1999), que de las construcciones medievales que integraron este sector del Patio del Sol del Alcázar, se conserva parte de una arquería mudéjar en el acceso que al mismo se realiza desde el apeadero, pero sin especificar su cronología exacta.

Por otro lado Rafael Manzano en el texto de *Los Conservadores Municipales del Real Alcázar* (2003) nos habla del hallazgo de una arquería del siglo XVIII en el Patio del Sol y de una exploración arqueológica que permitió encontrar los restos mudéjares del antiguo cuarto del Alcaide.

Basilio Pavón Maldonado en su libro *El Arte Hispanomusulman en su Decoración Floral*, nos describe en la Tabla XX-51, figuras 387 y 388, una yesería de palmetas floreadas de la Sala de la Justicia fechada por su tipología entre los siglos XIII – XIV y una enjuta con motivo agallonado y flor de loto, como yesería mudéjar del siglo XIII del arco del apeadero, que se corresponde con esta misma enjuta en el Patio del Sol, junto al apeadero (Figura 53).

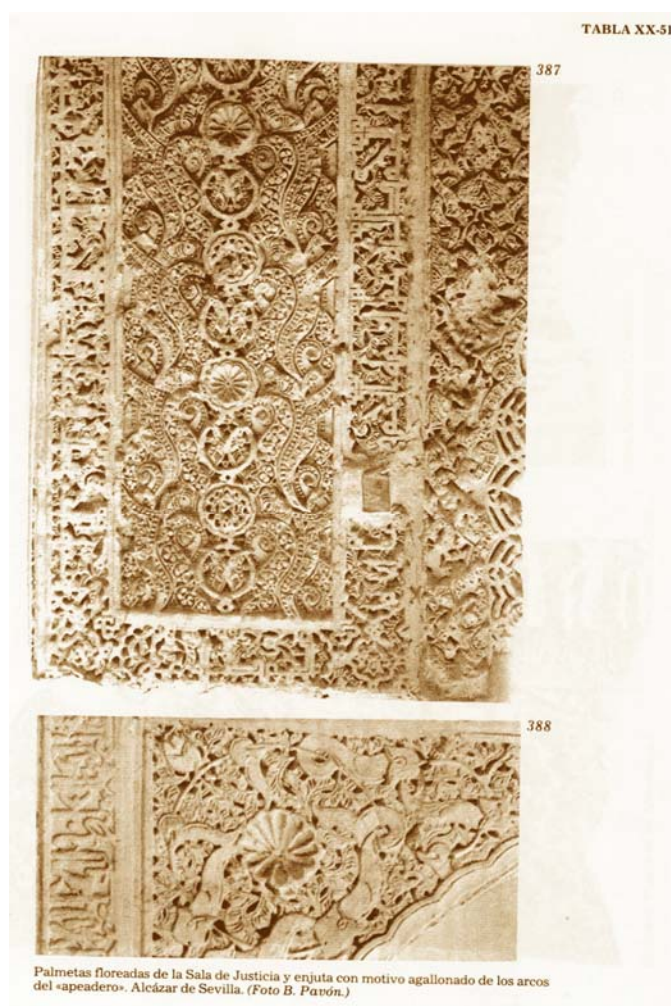


Figura 53

- A la vista de la historiografía consultada, se podría afirmar en primer lugar, que en el Patio del Yeso, descubierto por Tubino, se realizaron obras en 1913, dirigidas por el arquitecto José Gómez Millán consistente en el desescombro y consolidación de la zona del Patio del Yeso y la Sala de la Justicia. Que entre 1918 y 1920, se realizaron obras en el patio del yeso, bajo la tutela del Marqués de la Vega Inclán, consistentes en la reposición de fustes y capiteles reutilizados que faltaban y a la consolidación de la arquería de sebka que aún se mantenía, correspondiendo al arquitecto Rafael Manzano entre 1969 y 1971, la complementación de la que faltaba, según el criterio de diferenciación de lo antiguo y lo nuevo, que aún hoy puede apreciarse.
- Así mismo, a la vista de los textos escritos consultados, se podría decir sobre la bibliografía presentada en el catálogo Fama de la Universidad de Sevilla como: CARRIAZO-ARROQUIA, JUAN de M., *El Arte en España: Alcázar de Sevilla*, Edición H. de J. Thomas, Barcelona 1940?, que podría tratarse de una publicación de 1.930
- En referencia al Patio del Sol, una vez realizada en el mismo la exploración arqueológica por Rafael Manzano, que permitió hallar los restos mudéjares del antiguo cuarto del Alcaide, al igual que realizara el marqués de la Vega Inclán en el Patio del Yeso, se recuperaron los paños de yesería originales que aún permanecían en los paramentos primitivos, quizá ocultos por otros revestimientos, y a la restauración de los que faltaban. Más concretamente los paños de yesería originales podrían haber coincidido con los que nos describe Basilio Pavón Maldonado en *El Arte Hispanomusulmán en su Decoración Floral* como mudéjar del siglo XIII (Figura 54), aunque se ha comprobado posteriormente, que esta muestra YPS2 es una realización más moderna, dado que todos los análisis obtenidos apuntan a ello. Observándose igualmente la restauración llevada a cabo por Rafael Manzano, siguiendo el criterio de diferenciación entre lo antiguo y lo nuevo, aunque menos claramente distinguible que en el Patio del Yeso (Figura 94), se ha comprobado que la muestra YPS es una realización moderna. Esta hipótesis queda reforzada por los resultados obtenidos tras la datación del C-14 realizado a las fibras vegetales contenidas en la propia pasta de la muestra (YPS) extraída de este patio, confirmándose, al tratarse de una de las nuevas yeserías repuestas por Manzano, la contemporaneidad de las mismas.



Figura 54



3. METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LAS YESERIAS

- 3.1.- Definición del problema científico
- 3.2.- Objetivos y actuaciones realizadas
- 3.3.- Toma de muestras
 - 3.3.1.- Relación de las muestras y criterios
 - 3.3.2.- Situación y descripción
- 3.4.- Metodología para la Caracterización de masas y capas
 - 3.4.1.- Análisis Químico elemental mediante FRX
 - 3.4.2.- Determinación de contenido en Carbonatos
 - 3.4.3.- Residuo insoluble en agua
 - 3.4.4.- Análisis Mineralógico
 - 3.4.5.- Análisis de componentes orgánicos
 - 3.4.6.- Microscopía electrónica de barrido (SEM)
 - 3.4.7.- Determinación de Propiedades Físicas. Densidad Real, Aparente y Porosidad accesible al agua
 - 3.4.8.- Porosimetría de mercurio
 - 3.4.9.- Dureza Superficial
 - 3.4.10.- Datación temporal de la muestra YPS
 - 3.4.11.- Análisis de capas. Microscopía Óptica
 - 3.4.12.- Análisis de capas. Análisis Mineralógico
 - 3.4.13.- Análisis de capas. SEM (Scanning electron microscopy) y Microfluorescencia de Rayos X

3.- METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LAS YESERÍAS

3.1.- Definición del problema científico

Dentro de los muchos estudios que se realizan de los edificios históricos, en esta tesis se ha acometido el análisis de los revestimientos de yeserías de tradición islámica, de Salas y Cuartos interiores, así como de fachadas o patios exteriores más o menos protegidos de las inclemencias del tiempo (como pueden ser por los aleros de cubierta), con mayor representación en el Real Alcázar de Sevilla.

Aunque existen distintas posibilidades para confeccionar yesos con mejores prestaciones para su uso en exteriores, como pudieran ser: los yesos obtenidos a altas temperaturas o anhidritas, con impurezas de arcillas o carbonatos que contribuyen a la formación de fases hidráulicas, o yesos obtenidos a baja temperatura mezclados con cal y sustancias orgánicas hidrofugantes en masa o en capas de protección, no son el objeto de esta investigación. Dado que la mayoría de las yeserías desarrolladas en este período artesanal o de tradición islámica del Real Alcázar, como queda demostrado a través de su caracterización, son yesos dihidratos con impurezas y adición de sustancias orgánicas (que los dotan de ciertas características que lo hacen más trabajables o permiten alargar el tiempo de aplicación, entre otras propiedades), se dejan fuera de este trabajo los estucos exteriores realizados fundamentalmente con cal, yeso y árido finamente molido, los yesos mezclados intencionadamente con cal al que se le añaden sustancias orgánicas y los yesos hidráulicos.

Toda obra del Patrimonio Histórico está sometida a la acción de una serie de agentes externos, que determinan su evolución a lo largo del tiempo. Estos agentes son los conocidos como factores extrínsecos de alteración, ya que condicionan en gran medida las transformaciones que sufren los materiales que constituyen la obra. La propia estructura y los materiales de la pieza conforman los factores intrínsecos de alteración, ya que sus características definen su evolución natural (Villegas, 2003).

El estudio de estas yeserías se realiza desde el punto de vista material, ya que se pretende determinar algunos de los problemas derivados de la relación de estos revestimientos con el ambiente exterior e interior. Así, podría obtenerse información sobre las posibles patologías que pudieran surgir, a la vez que definir algunas formas de proceder ante la conservación y restauración de estos elementos, pero sin entrar de lleno en las técnicas de intervención.

Para poder acceder al correcto planteamiento y resolución de estas investigaciones, se ha creído más apropiado acometer primero los aspectos propios del material, de modo que queden fijadas las bases fundamentales para el conocimiento del yeso de fabricación artesanal aplicado en el monumento, como material de construcción.

De este modo, tras una investigación previa tanto del propio monumento¹²⁰ como de diversas fuentes externas al mismo¹²¹, el análisis y comportamiento del material se ha estudiado en tres bloques (el primero desarrollado en este apartado y los dos siguientes en el de Durabilidad):

- a) La toma de muestras y la caracterización de las yeserías más representativas del palimpsesto, tanto en lo que se refiere a su masa, como a las capas exteriores aplicadas a la labor de yeso, donde las hubiera.
- b) La preparación de probetas o muestras de estudio semejantes a los materiales del Alcázar a partir de materiales comerciales, así como la caracterización física y mecánica de las mismas.
- c) Estudio de la alterabilidad de las muestras preparadas, proponiendo una metodología con diversos ensayos de alteración que simulan distintas condiciones ambientales, y en función de las protecciones o acabados superficiales aplicados.

Posteriormente se ha inferido un modelo de comportamiento de acuerdo al cruce de datos físicos y mecánicos, para cada grupo de yeserías según posean alguna aplicación de acabado o no, además de una hipotética técnica de ejecución y una probable adscripción a una cronología determinada.

Los materiales utilizados para la fabricación de las probetas, proceden de una explotación activa de yeso comercial de Morón (Sevilla), seleccionado por su semejanza en la composición del material cocido con las muestras caracterizadas, además de tratarse de un lugar de extracción más que probable para la obtención de la materia prima utilizada en la preparación de las yeserías históricas.

¹²⁰ Inscripciones, grabados, diferenciación entre lo antiguo y lo nuevo, tipología, etc.

¹²¹ Documentación histórica escrita, documentación gráfica, fuentes literarias, etc.

3.2.- Objetivo y actuaciones realizadas

El objetivo del estudio experimental de este trabajo es conocer con datos y argumentos científicos, el sistema del yeso artesanal, desde el punto de vista del material. Es fundamental caracterizar las fases tras el fraguado y endurecimiento, ya que en ese momento se forma la macroestructura porosa del yeso fraguado, de cuya relación con el ambiente depende en gran medida el comportamiento, sobre todo al exterior, de los trabajos de yesería, dado que hay una fuerte relación entre macroestructura y propiedades, como quedó recogido en los antecedentes científicos.

De algún modo, para poder entender completamente este problema, y poderlo resolver, se ha de proceder de un modo deductivo, buscando las causas en el sistema del Ciclo Tecnológico del Yeso artesanal.

Se desea conocer si este yeso artesanal, tanto con capas como sin ellas, se comporta satisfactoriamente al interior y exterior, pretendiendo responder a esta cuestión desde el punto de vista de la durabilidad de los materiales. Para ello se ha investigado qué sucede cuando el yeso se expone al agua, caracterizando las fases, y midiendo las propiedades físicas y mecánicas durante un fraguado bajo distintas condiciones de humedad y temperatura. Pero para poder interpretar lo observado, se debe conocer cómo ha sido el fraguado, y eso conlleva la necesidad de conocer cómo es el material hidratado, estudio que se ha realizado con técnicas instrumentales.

Se estudian, por lo tanto, fundamentalmente, las propiedades del yeso hidratado y de su comportamiento a la exposición del ambiente.

3.3.- Toma de muestras

Previamente a la toma de muestras propiamente dicha, se realiza una inspección ocular detallada para comprobar su apariencia general y estado de conservación, su tipología arquitectónica y constructiva, posibles actuaciones anteriores documentadas o no, el tipo y extensión de los deterioros o patologías e informe detallado de los posibles lugares elegidos para la toma de muestras de los distintos espacios del conjunto palacial. Para la decisión última de la extracción, se ha procurado tener en cuenta:

- Los criterios históricos referentes a las obras realizadas en el monumento a lo largo de los siglos, siguiéndose un criterio respetuoso con el monumento de forma

que las cantidades fueran las mínimas posibles para realizar los análisis pretendidos, a la vez que representativas, y minimizando el impacto visual en los paños.

- Las indicaciones y recomendaciones de los conservadores del Alcázar, intentando que su extracción y adscripción corresponda lo más fielmente posible, por un lado, a yeserías que de las que se posea una mayor certeza sobre su época de realización, y por otro, respetando las opiniones de los responsables del palimpsesto.
- Realizar una selección considerando todas las variables que puedan condicionar las características del material (etapa o fase constructiva) y las que puedan afectar al estado de conservación (orientación, exposición a la radiación solar, altura sobre el suelo, profundidad, etc.).

De todas las zonas elegidas se han tomado imágenes fotográficas, antes y después de la extracción.

Las muestras de las diversas zonas de estudio del monumento, se han obtenido en tres fases:

- En una primera Campaña (2008) se obtuvieron pequeñas muestras representativas del Patio del yeso (zona original), Sala de la Justicia (primera toma), Patio de las Doncellas y Patio del Sol (zona restaurada). Hay que destacar aquí, además de toda la información histórica obtenida, las fotografías aportadas por Carriazo, en su libro guía de Sevilla, *“El Arte en España: Alcázar de Sevilla”*¹²², así como las halladas en el libro de Vicente Traver y Tomás sobre el Marqués de la Vega-Inclán, y *“La Guía artística de Sevilla”* publicada por Gestoso en 1926, que han ayudado a definir el lugar exacto de extracción de la muestra del patio del yeso (Figuras 55, 56 y 57).

También se han utilizado en esta primera fase muestras de catalogación arqueológica correspondientes al Patio Limones de la Catedral de Sevilla y del patio de la Montería del Alcázar, cedidas por el Museo Arqueológico de Sevilla y por el Patronato del Real Alcázar respectivamente, que han servido de referencia para elaborar algunas hipótesis de partida desde el punto de vista de su composición, dada la certeza de su datación.

¹²² Aunque estoy en desacuerdo con la fecha aportada sobre la publicación del mismo de 1940? (con interrogación), que se aporta en la propia información bibliográfica que da la Universidad sobre el mismo



Figuras 55 y 56. Fachada del patio del yeso, descubierta por Tubino a finales del siglo XIX y tras la intervención del Marqués de la Vega Inclán entre 1918 y 1920



Figura 57. Fachada actual, tras la intervención de Rafael Manzano entre 1969 y 1971

- En una segunda Campaña (2009) se han obtenido nuevamente pequeñas muestras del Patio del yeso (zona restaurada), Sala de la Justicia (segunda toma) y Patio del Sol (enjuta descrita por B. Pavón Maldonado), además de otras correspondientes al Cenador de la Alcoba de Carlos V, Salón de Embajadores, Patio de las Muñecas, Cuarto del Príncipe y Dormitorio de los Reyes Moros o Cuarto Real. Durante el muestreo se han comprobado in situ las referencias bibliográficas obtenidas y se ha realizado un levantamiento con escáner láser 3D antes y después de la extracción, sobre las muestras en las que ha sido posible su lectura¹²³. Este procedimiento de lectura permitirá, una vez procesados los datos y realizado el encaje geométrico de los distintos escaneos, la generación de superficies a partir de la nube de puntos y conseguir finalmente un modelo geométrico al que se le asignarán texturas.
- En la tercera y última Campaña (2010), se han obtenido muestras del Salón de los Reyes Católicos, Salón del Techo de Felipe II, Salón del Techo de Carlos V, Dormitorio del Rey D. Pedro y de la Cámara o Sala de Audiencias (estas dos

¹²³ Sobre las muestras elegidas que presentaban alguna cara vista, ha sido posible su levantamiento. Sin embargo, no lo ha sido sobre representaciones tomadas de zonas no visibles desde ningún punto desde suelo

últimas del Palacio Alto) que han servido para comprobar algunas de las hipótesis obtenidas de partida desde el punto de vista de su composición.

Las muestras se nombran con una primera sigla que indica el tipo de material extraído (Y= yesería), seguida de dos letras indicativas del lugar de obtención. Así mismo, se ha añadido un número en aquellos casos en los que se ha contado con más de una muestra de la misma Sala o Patio pero con distinta ubicación en el paño, bien para comprobar los datos obtenidos en la primera toma (YSJ2), bien por tratarse de muestras donde se aprecian dos tipos de yeso (YPM1 e YPM2), o bien para obtener mayor información al observarse distintas épocas o intervenciones realizadas en los paños de las yeserías (YPS2, YPS3 e YPY2).

Las imágenes de las muestras, los lugares de extracción, y la información obtenida, quedan reflejadas en el Anexo 2 de este documento (Fichas de las yeserías).

Como referencia se han utilizado unas muestras de yesería tomadas en el Convento de Santa Clara, como se ha descrito igualmente en el apartado 1.2 de esta Tesis

3.3.1.- Relación de muestras

Procurando tener la máxima representatividad dentro de la heterogeneidad de los materiales, se ha valorado, previamente a cada toma de muestras, cualitativa y cuantitativamente, el número, estado, cantidad y lugar donde realizar las mismas, obteniéndose y estudiándose un total de 21 muestras correspondientes a 17 yaserías, 7 durante la campaña 2008 (Fig. 58), 9 durante el ejercicio 2009 (Fig. 59) y 5 durante el 2010 (Figura 60). Todos los datos se recogen en la tabla 5:

Tabla 5. Relación de las muestras tomadas, su ubicación y posible período de construcción

AÑO	Nº ORDEN	LUGAR DE UBICACIÓN	DESIGNACIÓN	MATERIAL Y TÉCNICA	POSIBLE PERIODO DE CONSTRUCCIÓN Y ESTILO
2008	1	Patio de la Montería	YPM1 y 2	Yasería (Fondo arqueológico)	Siglo XII-XIII (Catalogación arqueológica). Almohade
2008	2	Patio Limones (Catedral de Sevilla)	YPL	Yasería (Fondo arqueológico)	Siglo XII-XIII (Catalogación arqueológica). Almohade
2008	3	Patio del Yeso (zona original)	YPY	Yasería en Sebqa	Siglo XII-XIII. Almohade
2008	4	Patio de las Doncellas (ajimez de galería baja)	YPD	Yasería en Ajimez	Siglo XIV-XVI. Mudéjar
2008	5	Patio del Sol (Zona restaurada)	YPS	Yasería en Friso	Siglo XX. Restauración.
2008	6	Sala de la Justicia (arco testero noreste)	YSJ	Yasería en Arco	Siglo XIV. Mudéjar
2009	7	Cuarto Real (Portada interior salón-alcoba)	YCR	Yasería en Arco	Siglo XIV-XX. Mudéjar
2009	8	Cenador de la Alcoba (testero sur)	YCA	Yasería en Friso	Siglo XIV-XVI. Mudéjar
2009	9	Cuarto del Príncipe (arco noreste)	YCP	Yasería en Arco	Siglo XIV-XVI. Mudéjar
2009	10	Patio Muñecas (testero noroeste)	YPM	Yasería en Sebqa calada	Siglo XIV-XIX. Mudéjar
2009	11	Salón de Embajadores (arco separación techo Felipe II)	YSE	Yasería en Arco	Siglo XIV. Mudéjar
2009	12	Patio del Yeso (Zona restaurada)	YPY2	Yasería en Sebqa	Siglo XX. Restauración
2009	13	Patio del Sol (zona descrita por Pavón M.)	YPS2	Yasería en enjuta de Arco	Siglo XIII-XIV (¿). Mudéjar
2009	14	Sala Justicia (Zona de acceso desde Montería)	YSJ2	Yasería en Arco	Siglo XIV. Mudéjar
2009	15	Patio del Sol (zona distinta a las anteriores)	YPS3	Yasería en Arco	Siglo XIII-XIV (¿). Mudéjar
2010	16	Sala de los Reyes Católicos (Arco este a P. Muñecas)	YSR	Yasería en Arco	Siglo XVI-XIX. Mudéjar
2010	17	Salón del techo de Felipe II (Arco de los Pavones)	YSF	Yasería en enjuta y Arco	Siglo XVI. Mudéjar
2010	18	Salón del techo de Carlos V (Arco separación alcoba)	YSC	Yasería en Arco	Siglo XIV-XVI. Mudéjar
2010	19	Dormitorio del Rey D. Pedro (Arco testero este)	YDR	Yasería en Arco	Siglo XIV-XVI. Mudéjar
2010	20	Cámara o Sala de Audiencias (Arco central)	YSA	Yasería en Arco	Siglo XIV. Mudéjar



Figura 58. Muestras tomadas en Campaña 2008



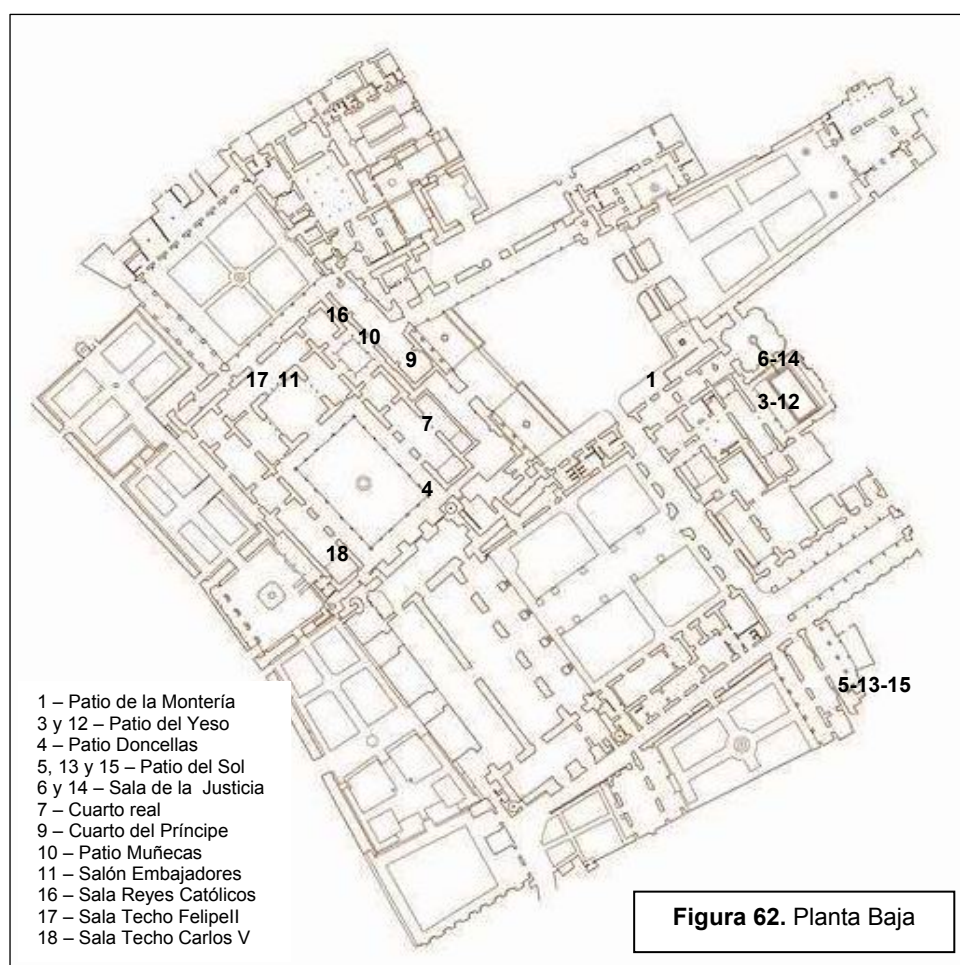
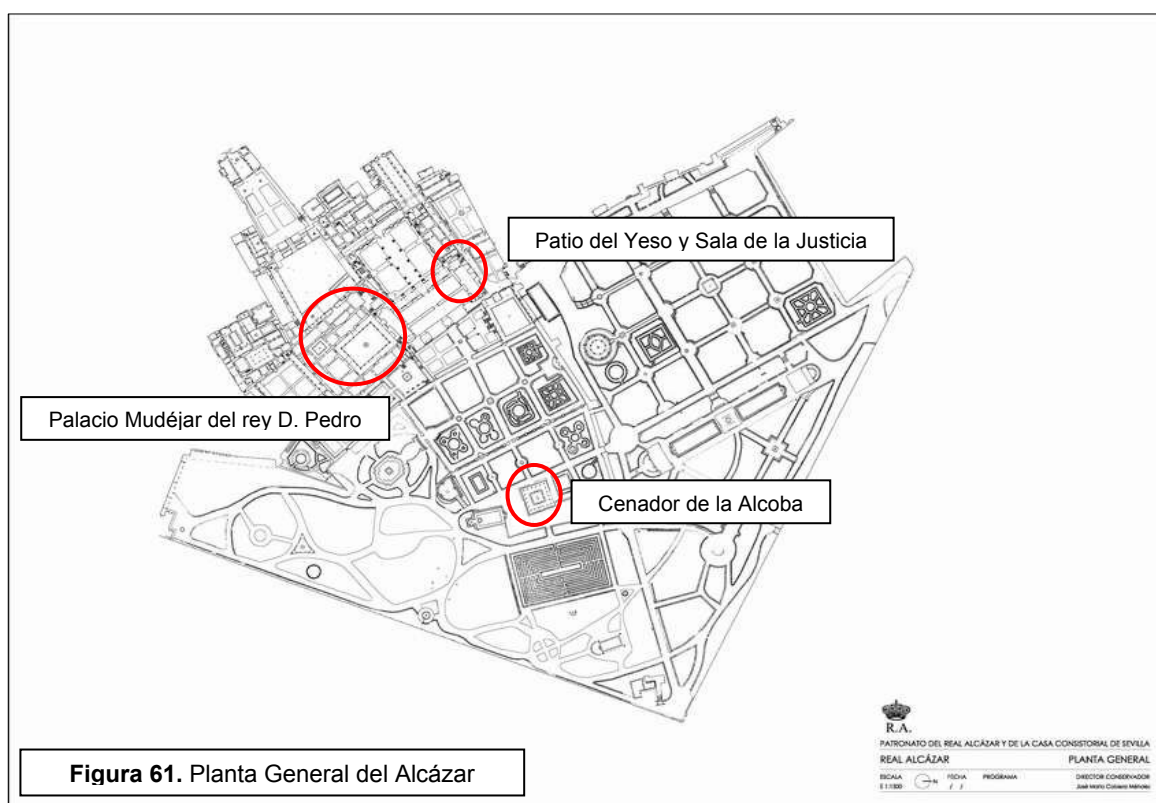
Figura 59. Muestras tomadas en Campaña 2009

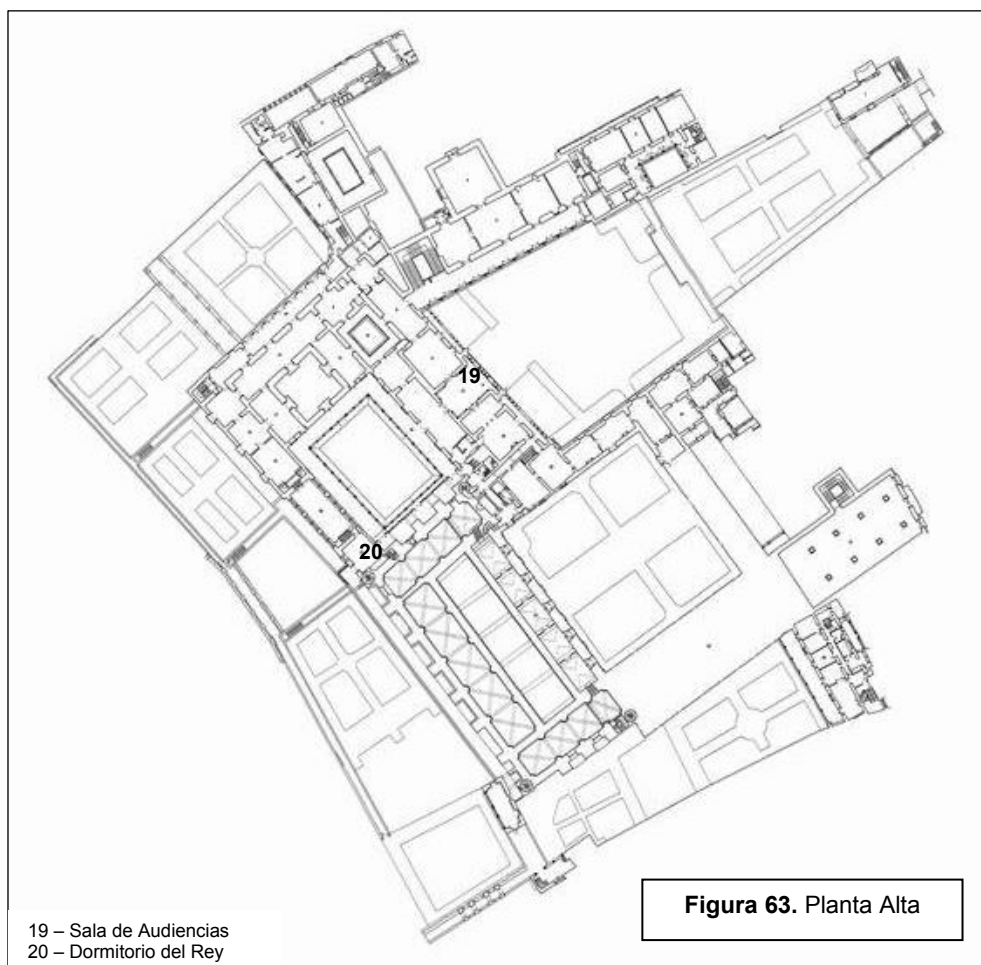


Figura 60. Muestras tomadas en Campaña 2010

3.3.2.- Situación y descripción

A continuación se muestra en el plano general de planta del Real Alcázar las áreas estudiadas (Fig. 61), así como las salas y patios del Palacio Almohade, del Palacio de Pedro I, Cenador de la Alcoba y del patio del Sol, de donde se han extraído las muestras (Figs. 62 y 63). (Ver fichas resumen Anexo 1)





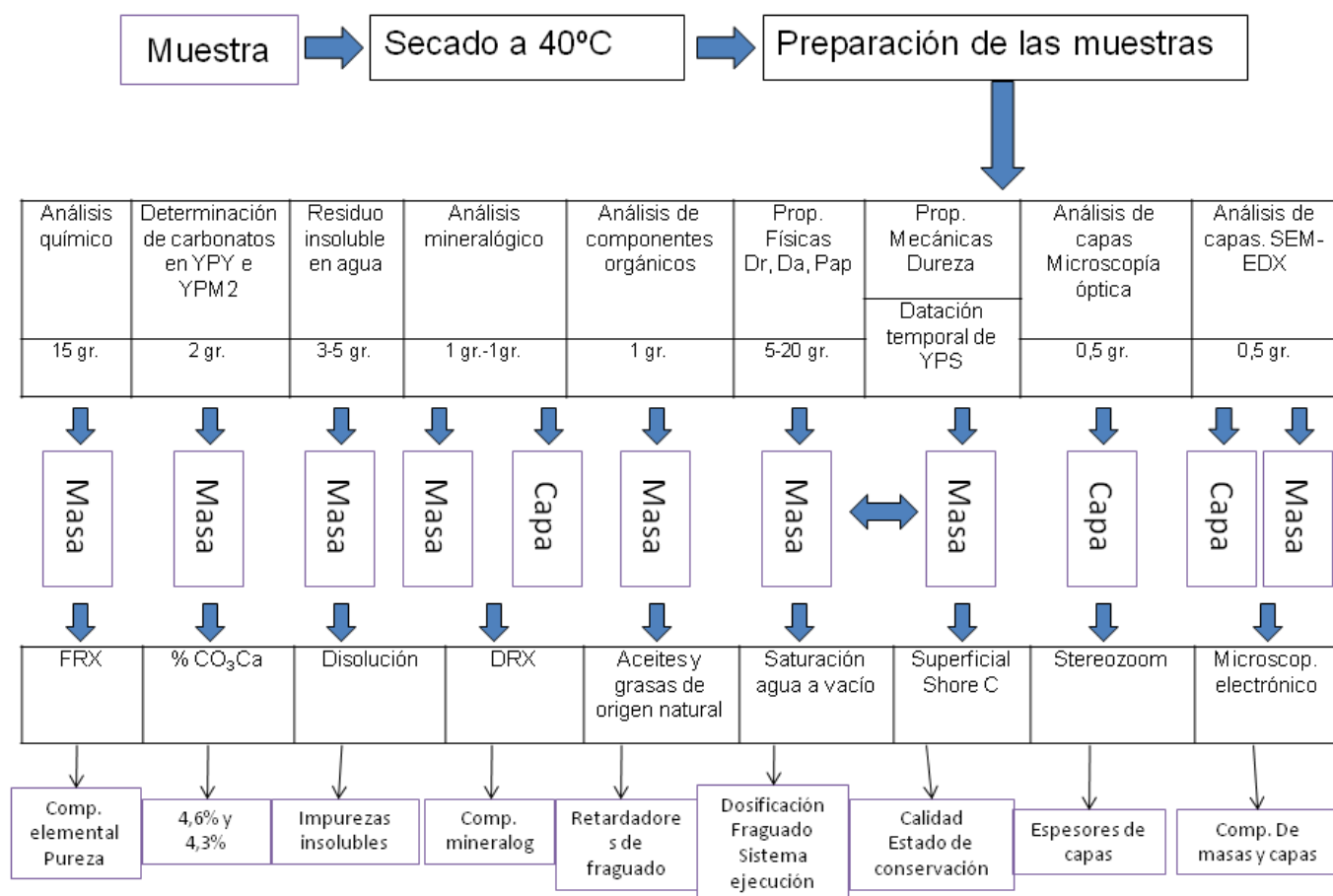
3.4.- Metodología para la caracterización de masas y capas

Para la realización de todos los análisis y pruebas a efectuar se han preparado muestras, tanto de masas interiores como de capas exteriores, en cantidades aproximadas que se recogen en la tabla 6.

Tabla 6. Cantidades de muestras utilizadas (aproximadas)

Análisis Químico elemental FRX y DRX de Masas	Residuo insoluble en agua	Análisis de componentes orgánicos	Determinación de Propiedades Físicas	Análisis de capas Microscopía óptica	Análisis de capas. Análisis mineralógico	Análisis de capas. SEM
15 g	3-5 g	0,5 g	5-20 g	0,5 g	1 g	0,5 g

Un esquema de la metodología seguida se expone en el siguiente cuadro:



3.4.1.- Análisis Químico elemental mediante FRX

El análisis químico elemental de las yeserías se ha realizado mediante un espectrómetro de fluorescencia de Rayos X marca Panalytical (modelo AXIOS) de tubo de Rh para el análisis elemental de muestras sólidas y líquidas, estando dotado de un sistema robotizado para el cambio de muestras (Fig. 64). Este equipo permite el análisis químico cualitativo y cuantitativo desde el Oxígeno al Uranio en un amplio rango de concentraciones desde componentes mayoritarios a trazas.

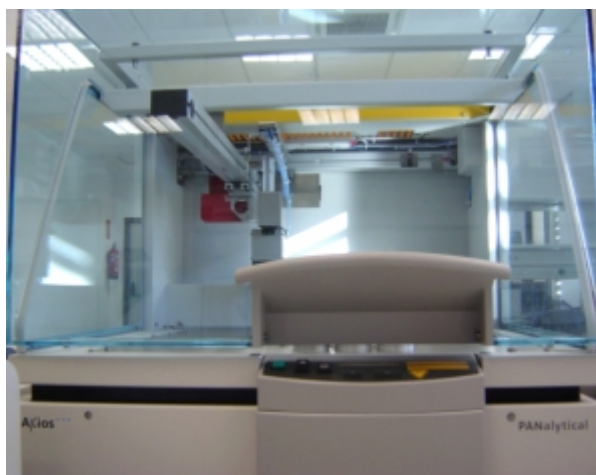


Figura 64. Espectrómetro de fluorescencia de rayos X

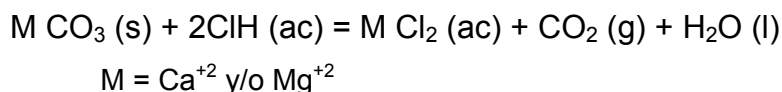
El fundamento de esta técnica reside en el fenómeno que se produce cuando la radiación X incide sobre la materia, observándose que la radiación incidente es parcialmente atenuada por el material irradiado; es decir, sólo una fracción de intensidad de esta radiación la atraviesa sin que se produzcan cambios en su energía o longitud de onda. La medida de esta intensidad transmitida es la base de estas técnicas de absorción de Rayos X. La atenuación de la radiación se produce por absorción fotoeléctrica y dispersión. La absorción fotoeléctrica se traduce en emisión, por la muestra irradiada, de radiación X y de electrones; el estudio del espectro de Rayos X característico y de los electrones emitidos son la base de una serie de técnicas que se engloban en las *técnicas basadas en el efecto fotoeléctrico*.

La preparación de la muestra se realiza mediante la fusión a 1100 °C de una mezcla de tetraborato-metaborato, en una proporción en peso de un 33% y un 66% respectivamente, obteniéndose lo que se denomina una perla.

Con esta técnica se ha realizado el análisis químico cuantitativo de elementos mayoritarios, minoritarios y trazas de todas las muestras (tanto las tomadas de los diversos patios del monumento, como las procedentes de fondos arqueológicos).

3.4.2.- Determinación de contenido en Carbonatos

La determinación de carbonatos (expresados como CaCO_3), se realiza mediante el calcímetro de Bernard (Fig. 65) siguiendo la norma UNE 103-200-93, que se basa en la descomposición de los mismos por la acción del ácido clorhídrico con desprendimiento de anhídrido carbónico según la reacción:



Este método tiene validez para obtener de forma aproximada el contenido original de cal en los yesos, ya que ésta con el tiempo, se carbonata y transforma en carbonato de calcio. Sin embargo se ha de tener en cuenta que tanto las impurezas de la materia prima (aljez), como el árido incorporado en la fabricación de la pasta o mortero de yeso pueden contener fracciones de naturaleza carbonatada, por lo que no todo el contenido de carbonatos obtenido con este método es siempre atribuible a la adición de cal.



Figura 65. Calcímetro de Bernard

3.4.3.- Residuo insoluble en agua

Para la obtención de las impurezas insolubles, teniendo en cuenta la ligera solubilidad del yeso dihidrato en agua (2,05 g/l a 20°C), y la de la anhidrita natural (3,0 g/l) (Villanueva, 2001), se ha partido de porciones desecadas de todas las muestras. Se colocan sobre filtros de papel Albet DP150110 de 3-5 μm de diámetro de paso, y se les ha sometido a un flujo continuo de agua hasta su disolución total (Figuras 66 y 67). Posteriormente se han secado pesado los filtros con las impurezas insolubles, obteniéndose así su proporción en la muestra inicial. Por último, se ha determinado su composición mineralógica por DRX.



Figura 66. Muestra previa a la disolución



Figura 67- Muestra tras la disolución

3.4.4.- Análisis Mineralógico

El análisis mineralógico de las muestras (tanto de masas como de capas) se ha realizado mediante difracción de rayos X, método polvo, por incidencia rasante, empleando un difractómetro marca Bruker-AXS modelo D8 Advance, equipado con un filamento de cobre Cu K α ($\lambda = 1,5405 \text{ \AA}$), geometría de haces paralelos y monocromador de grafito (Fig. 68). Este equipo permite el análisis de las distintas fases cristalinas presentes en las muestras de forma cualitativa y cuantitativa, así como la realización de estudios estructurales.

Las muestras se molieron en un mortero de ágata, tamizándolas por el tamiz normalizado 0,063 mm. de la serie UNE-EN 933.



Figura 68. Difractómetro Bruker modelo D8 Advance

Los difractogramas fueron tomados haciendo barridos de $0,02^\circ$, mediante incidencia rasante a ángulos de 1° y 3° con respecto a la superficie de la muestra, es decir, el haz incidente se colocó fijo y el detector se movió en un rango entre $3^\circ < 2\theta < 70^\circ$ determinando la mineralogía global mediante el método de polvo.

Las fases se identificaron comparando el difractograma de las muestras analizadas con patrones preexistentes en archivo PDF (*Power Diffraction File*), siendo el espectro patrón más utilizado el PDF. 74-1433.

3.4.5.- Análisis de componentes orgánicos

La caracterización de los componentes orgánicos de las muestras se ha realizado por cromatografía de gases, siendo el equipo utilizado un HP 6890 de *Agilent*, acoplado a un espectrómetro de masas 7963 N de *Agilent* (Fig. 69).

La Espectrometría de Masas es una técnica analítica instrumental de alta sensibilidad capaz de identificar cualitativa y cuantitativamente, mezclas de sustancias. Asimismo esta técnica permite también determinar la masa molecular de un compuesto, así como de los diversos fragmentos que resultan de la rotura controlada de sus moléculas, una información muy valiosa sobre la estructura de la molécula.



Figura 69. Espectrómetro de masas 7963 N y cromatógrafo de gases HP 6890, ambos de *Agilent*

Un espectrómetro de masas siempre contiene las siguientes partes: un sistema de introducción del compuesto o mezcla que se va a analizar, una fuente para ionizar la muestra, uno o varios analizadores de masas para separar los iones producidos, un detector o contador de iones y finalmente un sistema de procesamiento de datos que reproduce el espectro de masas. La introducción de la muestra se lleva a cabo a través del cromatógrafo, que a su vez posee un inyector split/splitless, este sistema de inyección dispone además de PTV (programación variable de la temperatura) que permite trabajar con más cantidad de muestra y por tanto aumentar la sensibilidad. La ionización se puede realizar por impacto electrónico así como por ionización química positiva y negativa.

Cuando una molécula se somete a ionización por impacto electrónico en un espectrómetro de masas el proceso primario consiste en la extracción de un electrón para dar un catión-radical. Este catión-radical se trata del ión molecular y tendrá mayor o menor tendencia a fragmentarse en función de su estabilidad. Los iones moleculares muy estables tendrán poca tendencia a fragmentarse y serán muy abundantes. Al ión mas abundante del espectro se le denomina pico base. Los fragmentos más abundantes de un espectro de masas nos dan una información valiosísima sobre la estructura de la molécula.

Para ello, se ha validado previamente el método extractivo, con el criterio de obtener una mayor fiabilidad de los resultados, probándose diferentes disolventes y métodos cromatográficos, optándose por el uso de diclorometano, con extracción por agitación

ultrasónica y buscando todas las masas entre 40 y 400 uma¹²⁴. en el espectrómetro de masas, desde bajas temperaturas (50°C) hasta los 280°C (Dong, 2006). Posteriormente se han identificado los compuestos utilizando la última biblioteca del mercado, la *NIST08* y también otra como la *Wiley 275*.

3.4.6.- Microscopía electrónica de barrido (SEM)

Este análisis se ha realizado con un microscopio electrónico Marca JEOL JSM 6450-LV, equipado con sonda de energía dispersiva de rayos X (EDX), ventana de berilio ATW2 y software específico (Oxford INCA) para análisis químicos semicuantitativos y realización de mapping (Fig. 70).

Las imágenes se tomaron en el modo de electrones retrodispersados (BSE) sobre una sección de las muestras de unos 2 mm de profundidad, metalizadas mediante sputtering con oro. La observación de la muestra mediante microscopio electrónico requiere previamente una operación de metalizado de la misma para hacerla conductora, evitando de esta forma que adquiera carga eléctrica y que repela el haz de electrones con el que se bombardea. De las diferentes técnicas existentes se ha escogido el sputtering con oro, para evitar que en el análisis elemental se produzcan interferencias.

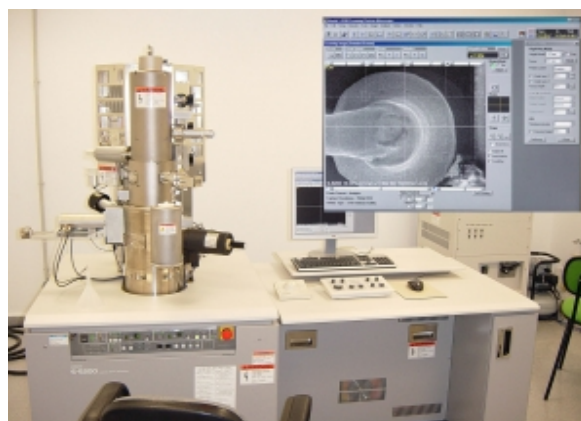


Figura 70. Microscopio electrónico JEOL JSM6450-LV

El análisis se ha efectuado para las muestras con una mayor presencia de calcita, YPY e YPM2, siendo los elementos para los que se ha hecho el mapping, el Ca, S, O, Si, Al, Mg, Fe, Sr y C, con una especial relevancia para el carbono, al proceder de los carbonatos presentes en las muestras.

¹²⁴ *Unified atomic mass unit.* Non-SI unit of mass (equal to the atomic mass constant), defined as one twelfth of the mass of a carbon-12 atom in its ground state and used to express masses of atomic particles, $u \approx 1.660\,5402(10) \times 10^{-27}$ kg. G.B. 75; 1996, 68, 997. IUPAC Compendium of Chemical Terminology 2nd Edition (1997)

3.4.7.- Propiedades físicas. Densidad Real, Aparente y Porosidad accesible al agua

Las propiedades físicas que se determinan en las yeserías son la densidad real, densidad aparente y la porosidad accesible al agua, caracterizándose todas ellas por suministrar información sobre la estructura del material. El método seguido para la determinación de estas tres propiedades se basa en saturación con agua de la muestra sometida a vacío según norma EN-1936:2007 (Método de ensayo para Piedra natural: Determinación de la densidad real y aparente y de la porosidad abierta y total).

Para obtener la porosidad abierta y la densidad aparente, se ha pesado cada probeta una vez desecada (m_d), colocándose en un recipiente de vacío y disminuyendo la presión del mismo hasta 15 ± 5 mm Hg, manteniéndose a esa presión constante durante $24 \pm 0,2$ h para eliminar el aire contenido en los poros abiertos de las probetas (Fig. 71).

Posteriormente se ha introducido agua desmineralizada a 20 ± 5 °C en el recipiente de vacío hasta quedar completamente sumergidas, manteniéndose una presión de 15 ± 5 mm Hg durante la introducción del agua, restableciéndose la presión atmosférica en el recipiente y dejando las probetas bajo el agua otras 24 ± 2 h. a dicha presión. A continuación, se ha pesado cada probeta bajo el agua (m_{ss}) y se ha secado rápidamente la misma con un trapo húmedo, determinándose también la masa de la probeta saturada con agua (m_s).

Para el cálculo de la densidad real se ha realizado una aproximación, considerando que el volumen cerrado de poros de las probetas es prácticamente cero, o dicho de otro modo, que todos los poros son abiertos al tratarse de un material muy poroso.



Figura 71. Recipiente de vacío para Porosidad abierta

Los resultados se han obtenido utilizando las siguientes ecuaciones:

Para el cálculo del volumen de poros abiertos en mililitros o cm^3 considerando la masa en gramos y la densidad del agua en g/cm^3

$$V_{pa} = (m_s - m_d) / \rho_{\text{agua}}^{125}$$

Para el cálculo del volumen aparente en mililitros

$$V_a = (m_s - m_{ss}) / \rho_{\text{agua}}$$

Para la obtención de la densidad aparente

$$D_a = m_d / V_a$$

Para hallar la porosidad abierta expresada en tanto por ciento

$$P_{ab} = (m_s - m_d) / (m_s - m_{ss}) \times 100$$

3.4.8.- Porosimetría de Mercurio

La porosimetría de mercurio analiza generalmente la banda entre 10^{-8} y 10^{-4} m. El volumen de material se determina mediante inmersión de la muestra en mercurio, como el mercurio es un líquido que no moja, éste no penetra¹²⁶ en sus poros. Después de hacer vacío sobre la muestra, se aplica una presión hidrostática con mercurio a la cámara que contiene la muestra, aumentando ésta a valores mayores. Como resultado, el líquido entra en la red porosa y, cuando la presión es suficientemente grande, en los poros más pequeños. De cualquier forma, la penetración no es nunca total porque para ello se necesitaría una presión muy grande, lo que puede dañar la estructura del material. Una vez alcanzada la presión máxima a la que se puede someter la muestra se ejerce una depresión sobre la misma.

Mediante esta técnica se obtiene un valor de porosidad absoluta del material (en %) así como una curva de distribución de tamaño de poros frente a la presión aplicada. Estas curvas se obtienen mediante diferenciación de las curvas de volumen acumulado frente al radio. Su estudio permite predecir, mediante distintos modelos matemáticos, algunas propiedades físicas de los materiales relacionados con la durabilidad de los mismos, entre otras.

El valor de la densidad del agua a 20°C es de 0,998 gr./cm^3

¹²⁶ Debido a que el ángulo de contacto entre el mercurio y el sólido es mayor de 90°

Se ha utilizado un porosímetro de mercurio Autopore IV 9500 de Micromeritics (Fig. 72). Este equipo permite el análisis de la distribución de tamaños de poro para baja presión, desde 360 a 3,6 μm , lo que corresponde a presiones aplicadas de hasta 50,00 psia (350 kPa) y para alta presión, desde 6 a 0,005 μm , correspondiente a presiones aplicadas de hasta 33,00 psia (228 MPa).



Figura 72. Porosímetro de mercurio Autopore 9500

3.4.9.- Dureza Superficial

La dureza es la propiedad que expresa la capacidad de un material para oponerse a ser deformado superficialmente por la acción física de otro.

Se ha determinado con un durómetro marca Härtpprüfer (Fig. 73), que proporciona la dureza superficial Shore C (0-100 Uds.) de las probetas, siguiendo la norma UNE 102-039-85 (Yesos y escayolas de construcción: Determinación de la dureza Shore C y Brinell), que para el caso del yeso endurecido es una técnica que mide la oposición a que otro material pueda hacer mella en su superficie por la presión ejercida.



Figura 73. Durómetro Härtpprüfer para determinar la dureza superficial Shore C

El equipo consta de un penetrómetro o aguja de forma troncocónica unida a un vástago mediante un engranaje, que aplica una fuerza¹²⁷ dada sobre una superficie, donde según a la profundidad que penetre se obtiene la dureza en unidades shore C en una escala que va de 0-100.

En nuestro caso, se ha realizado este ensayo sobre una muestra de cada uno de los patios y salones estudiados y sobre cada una las probetas procedentes de los fondos arqueológicos, una vez desecadas y preparadas sus superficies, realizando cinco medidas sobre sus dos caras, obteniéndose un total de diez medidas y realizando la media de ellas una vez rechazados los valores que se desvían en $\pm 10\%$ de la media.

3.4.10.- Datación temporal de la muestra YPS

Este análisis, se ha realizado a una muestra de la yesería correspondiente al Patio del Sol que contenía fibras orgánicas en su masa, probablemente utilizadas para dotarla de unas mejores prestaciones mecánicas.

La datación se ha realizado por C14, combinando la técnica de espectrometría de masas, en las que se selecciona la masa y carga de los componentes de un haz mediante campos electrostáticos y magnéticos, con un acelerador de partículas Tandetrón AMS¹²⁸ (*Accelerator Mass Spectrometry*) (Fig. 74). Es por tanto, una técnica de detección no radiométrica, ya que detecta el átomo ionizado en lugar de la radiación emitida en su desintegración.

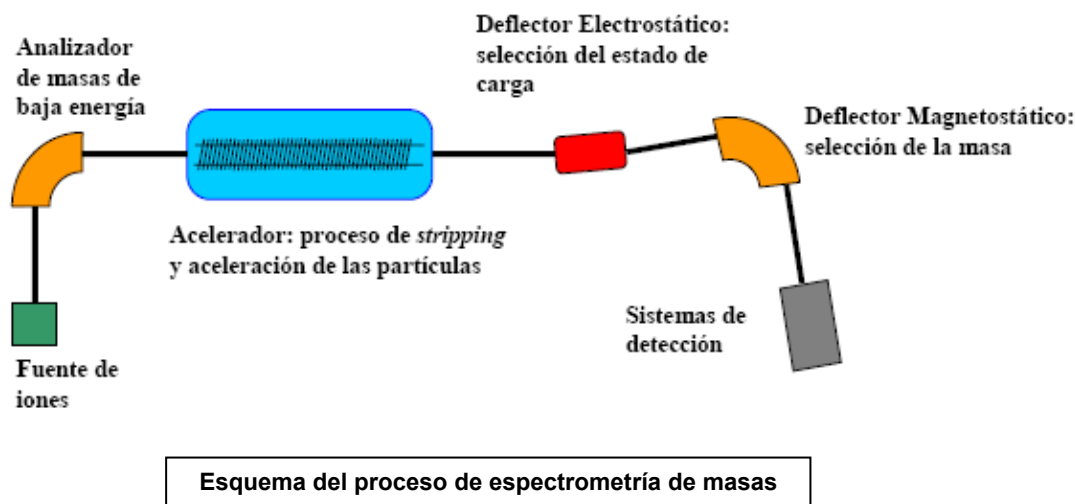


Figura 74. Espectrometría de masas con acelerador de partículas Tandetrom AMS

¹²⁷ La fuerza que se aplica para una dureza de 100 unidades shore C es de 44,5 N.

¹²⁸ El mecanismo es inverso al acelerador tandem Van de Graff en cuanto que en el AMS. Se parte de partículas de la muestra que son aceleradas hasta llegar al detector, mientras que en el de V. de Graff se acelera partículas para colisionarlas con la muestra a estudiar

El esquema del proceso se presenta en el siguiente gráfico:



Para poder llevar a cabo una medida de C14 por este sistema es preciso preparar la muestra con las siguientes operaciones:

- 1.- Observación de la muestra al microscopio para separar, si fuera preciso, diferentes tipos de componentes orgánicos (ya que podrían dar edades distintas)
- 2.- Proceso soxhlet o limpieza con disolventes orgánicos para eliminar restos de conservantes y colorantes que pudiera contener la muestra (en muestras textiles y de madera sobre todo)
- 3.- Limpieza con disoluciones de ClH , NaOH y agua destilada (esta limpieza no se realiza a los carbonatos y huesos)
- 4.- Secado y pesado exacto de la muestra
- 5.- Sellado de la muestra en un tubo de cuarzo con CuO y Ag bajo vacío
- 6.- Combustión de la muestra bajo vacío en un horno, para convertirla en CO_2 (gas)
- 7.- Grafitización de la muestra (transformación del CO_2 en grafito)
- 8.- Prensado de la muestra para ser medida por el A.M.S.

3.4.11.- Análisis de capas. Microscopía Óptica

Se ha realizado el estudio óptico de capas con un microscopio stereozoom marca LEICA modelo S8 APO, con cámara de captura LEICA DC300 y software IM50 (Image Manager) v.1.20 (Fig. 75). De esta forma se observa la estructura de las posibles capas que cubren las diversas yeserías, así como los espesores de las mismas.

Se han fotografiado las imágenes de las muestras a 8, 6,3 y 4 aumentos, sobre muestras de yeserías embebidas en una resina de metacrilato de metilo de dos componentes de la marca Kulzer tipo Technovit 4004, pulidas posteriormente (Fig. 76).



Figura 75. Microscopio óptico
LEICA S8 APO



Figura 76. Muestras embebidas en resina

3.4.12.- Análisis de capas. Análisis Mineralógico

Se ha efectuado el análisis de la superficie de todas las muestras, tanto en aquellas en las que se ha comprobado por microscopía óptica que poseen capa, como en las que no se ha detectado acabado alguno.

Las características del equipo y funcionamiento se especifican en el apartado 3.4.4. Los espectros fueron tomados haciendo barridos de $0,02^\circ$, mediante incidencia rasante a ángulos de 1° y 3° con respecto a la superficie de la muestra, es decir, el haz incidente se colocó fijo y el detector se movió en un rango entre $3^\circ < 2\theta < 70^\circ$ determinando la mineralogía global mediante el método de polvo.

Las fases se identificaron comparando el difractograma de las muestras analizadas con patrones preexistentes en archivo PDF (*Power Diffraction File*), siendo el espectro patrón más utilizado el PDF. 74-1433.

3.4.13.- Análisis de capas. SEM (Scanning electron microscopy) y Microfluorescencia de Rayos X

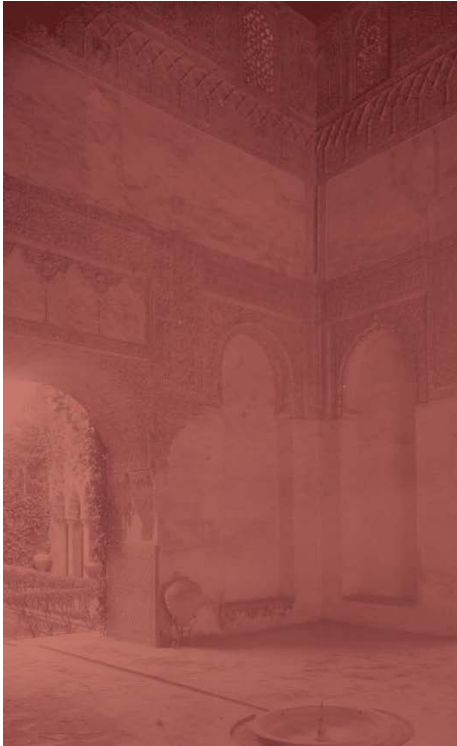
Sobre las muestras en las que se ha detectado la existencia de alguna capa o capas se han realizado análisis puntuales de las mismas, obteniéndose espectros de elementos trazables, mediante análisis SEM, con el mismo equipo definido en el apartado 3.4.6.

También se han realizado, sobre las mismas muestras, análisis puntuales mediante microfluorescencia de rayos X, obteniéndose espectros de elementos trazables, con un equipo marca EDAX (modelo Eagle III), que consta de una cámara CCD de video de 10 aumentos y otra de 100 con las que se enfoca la superficie de la muestra, sobre dicha superficie se analizan los elementos presentes (del Na al Pu) cualitativa y cuantitativamente. El anticátodo del tubo de Rayos X es de Rh, y el detector es de energías dispersivas (Fig. 77).

Estos resultados muestran un margen de error bastante mayor que el conseguido por SEM, dado que el área del espectro analizado por el equipo es de 500 micras, superando en muchos casos el espesor de las capas, por lo que sus resultados no se corresponden exactamente con los de la capa aislada, desechándose por este motivo la inclusión en este trabajo de los valores obtenidos, aunque sí nos han servido a título comparativo para la confirmación de elementos presentes.



Figura 77. Equipo de microfluorescencia de rayos-X marca EDAX



3.5.- Resultados y discusión

- 3.5.1.- Análisis Químico elemental mediante FRX
- 3.5.2.- Determinación de contenido en Carbonatos
- 3.5.3.- Residuo insoluble en agua
- 3.5.4.- Análisis Mineralógico
- 3.5.5.- Análisis de componentes orgánicos
- 3.5.6.- Microscopía electrónica de barrido (SEM)
- 3.5.7.- Determinación de Propiedades Físicas. Densidad Real, Aparente y Porosidad accesible al agua
- 3.5.8.- Porosimetría de mercurio
- 3.5.9.- Dureza Superficial
- 3.5.10.- Datación temporal de la muestra YPS
- 3.5.11.- Análisis de capas. Microscopía Óptica
- 3.5.12.- Análisis de capas. Análisis Mineralógico
- 3.5.13.- Análisis de capas. SEM (Scanning electron microscopy) y Microfluorescencia de Rayos X

3.5.- Resultados y discusión

3.5.1.- Análisis químico elemental mediante FRX

La composición química de las diferentes muestras de yeso¹²⁹, se recoge en las tablas 7 y 8.

Tabla 7. Composición química de las muestras (componentes mayoritarios y minoritarios)

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	SrO	P ₂ O ₅	SO ₃	PC	TOTAL
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
YPM1 (1)	1,31	0,28	0,23	0,01	1,05	32,01	0,02	0,08	0,18	0,02	44,25	20,92	100,20
YPM2 (1)	1,58	0,46	0,25	0,01	0,78	31,67	0,02	0,14	0,14	0,03	44,74	21,71	101,39
YPL (1)	1,34	0,34	0,19	0,00	1,17	31,86	0,02	0,16	0,07	0,02	43,51	22,08	100,68
YPY (1)	13,50	1,55	0,81	0,02	1,29	27,77	0,02	0,41	0,20	0,04	36,33	19,39	101,27
YSJ (1)	1,98	0,38	0,20	0,01	1,12	31,50	0,06	0,13	0,18	0,05	41,26	22,21	98,89
YPD (1)	0,09	0,04	0,07	0,01	0,33	32,61	0,01	0,02	0,18	0,01	47,14	21,57	101,88
YPS (1)	0,34	0,11	0,07	0,00	0,32	32,43	0,04	0,04	0,20	0,01	45,89	21,82	101,05
YCR (2)	2,43	0,60	0,36	0,01	0,79	31,79	0,06	0,15	0,33	0,02	40,61	21,53	98,36
YCA (2)	2,74	0,73	0,44	0,00	0,60	30,19	0,04	0,15	0,33	0,02	42,28	21,78	98,99
YCP (2)	2,32	0,57	0,33	0,00	0,76	31,16	0,06	0,20	0,34	0,01	40,85	22,40	98,65
YPM (2)	1,79	0,40	0,27	0,00	0,98	31,32	0,05	0,13	0,22	0,01	41,01	21,88	97,88
YSE (2)	2,68	0,64	0,30	0,01	0,86	29,73	0,02	0,18	0,28	0,00	41,04	22,55	97,98
YPY2 (2)	0,45	0,16	0,06	0,00	1,68	33,76	0,01	0,04	0,15	N.D.	43,78	21,38	101,27
YPS2 (2)	0,29	0,09	0,08	0,00	0,40	31,78	0,01	0,02	0,24	N.D.	44,21	21,66	98,54
YSJ2 (2)	1,84	0,34	0,18	0,00	0,87	30,14	0,04	0,09	0,24	0,01	42,08	21,97	97,54
YPS3 (2)	3,17	0,85	0,38	0,00	1,11	31,35	0,03	0,29	0,15	0,00	37,62	23,29	98,07
YSR (3)	1,86	0,48	0,35	0,00	0,74	30,74	0,01	0,11	0,21	0,00	40,29	22,05	96,84
YSF (3)	3,54	0,78	0,54	0,01	0,86	33,52	0,05	0,21	0,14	0,03	36,14	22,07	97,89
YSC (3)	1,71	0,48	0,34	0,00	0,57	30,88	0,01	0,10	0,30	0,00	41,17	21,42	96,98
YDR (3)	3,34	0,84	0,50	0,00	0,75	34,39	0,01	0,16	0,22	0,03	34,90	21,88	97,02
YSA (3)	2,80	0,68	0,39	0,01	1,00	30,30	0,02	0,20	0,23	0,02	38,36	24,11	98,12
CaSO₄·2H₂O	-	-	-	-	-	32,57	-	-	-	-	46,50	20,93	100

(1) Campaña 2008 (2) Campaña 2009 (3) Campaña 2010

¹²⁹ Una vez eliminadas las capas exteriores de las muestras (una o varias capas según muestras)

Tabla 8. Composición química de las yeserías (elementos traza)

Muestra	Cl	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Ti	Y	Zr	Nb	Mo	As	Sn	Sb	Cs	Ba	Pb	Bi
Concentración en ppm																				
YPM1 (1)	31	2	4	ND	0	8	9	5	8	2	11	1	1	1	1	1	4	25	5	0
YPM2 (1)	33	2	3	ND	1	8	9	6	ND	1	13	1	1	2	2	1	5	25	11	1
YPL (1)	24	2	4	ND	0	7	6	4	ND	1	9	1	2	2	1	2	2	7	6	0
YPY (1)	61	11	10	1	4	20	19	14	90	4	37	2	1	5	3	1	5	115	7	0
YSJ (1)	350	1	3	ND	1	43	18	6	ND	2	17	1	1	3	3	1	3	15	18	1
YPD (1)	75	ND	2	ND	ND	5	25	4	ND	1	10	1	1	1	1	1	4	ND	5	1
YPS (1)	52	ND	1	ND	ND	12	12	5	ND	1	9	1	1	1	1	2	4	0	5	1
YCR (2)	370	4	4	0	2	41	13	10	ND	5	ND	ND	2	ND	0	21	4	61	1164	2
YCA (2)	141	5	8	0	3	14	13	9	15	3	6	ND	2	21	1	ND	5	46	16	0
YCP (2)	335	3	9	1	3	50	15	8	ND	7	0	ND	2	ND	6	ND	1	57	1482	1
YPM (2)	335	2	5	0	2	15	10	7	8	2	ND	ND	2	2	8	ND	5	38	24	0
YSE (2)	274	3	12	0	3	134	14	10	ND	3	4	ND	2	17	6	ND	4	57	85	0
YPY2 (2)	31	0	0	1	0	5	6	4	ND	1	ND	0	1	2	ND	ND	7	24	1	0
YPS2 (2)	77	0	6	ND	1	3	7	4	ND	1	ND	1	1	ND	ND	ND	3	24	13	ND
YSJ2 (2)	310	3	8	ND	1	17	17	7	ND	2	ND	ND	2	2	4	ND	3	41	11	0
YPS3 (2)	354	6	9	1	3	8	11	10	ND	3	8	1	1	ND	1	0	5	49	19	ND
YSR (3)	51	3	4	ND	2	29	18	7	ND	2	ND	ND	2	248	15	ND	1	32	88	ND
YSF (3)	215	4	5	ND	2	85	17	8	ND	3	3	1	2	159	3	ND	2	45	323	1
YSC (3)	34	3	3	ND	1	15	13	9	ND	3	ND	ND	2	2	6	ND	2	44	13	ND
YDR (3)	63	4	7	ND	2	32	24	9	ND	3	ND	0,2	2	1	13	ND	1	45	28	ND
YSA (3)	69	6	4	ND	2	103	13	9	ND	3	ND	1	3	4	3	ND	4	30	24	ND

Con respecto a la composición química (tabla 7) se observa una composición típica con una elevada riqueza en SO_3 , atribuible al contenido en $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, y con una pérdida por calcinación próxima al 21%, que es la que correspondería a un yeso puro de referencia.

Si el contenido en SO_3 de un yeso dihidrato puro es del 46,50%, se puede observar que la mayoría de los yesos presentan una gran pureza (suponiendo que todo él proviene del yeso dihidrato), siendo la muestra extraída del Patio de las Doncellas (YPD) la que ha presentado el mayor índice de todas las muestras, siguiéndole igualmente con gran pureza, la muestra YPS (ambas con más del 45% de SO_3).

Las correspondientes a YPM1 e YPM2 (Patio Montería), YPL (Patio Limones), YCA (Cenador de la Alcoba), YSJ e YSJ2 (Sala de la Justicia), YPS2 (Patio del Sol, 2ª Toma) YPY2 (Patio del Yeso. Zona restaurada), YSC (Sala del techo de Carlos V), YSE (Salón de Embajadores), YPM (Patio Muñecas), YCP (Cuarto del Príncipe), YCR (Cuarto Real) e YSR (Sala de los Reyes Católicos) siguen teniendo gran pureza, pero inferior a las anteriores, observándose como aumentan en ellas el contenido de Si, Al, Fe y Mg,

probablemente atribuible a la presencia de cuarzo y silicatos como minerales impurezas en el yeso, pero clasificables como de media pureza, al contener entre un 40% y un 45% de SO_3 .

Por último, en las muestras YSA (Sala de Audiencias), YPS3 (Patio del Sol. Zona distinta a las anteriores) YPY (Patio del Yeso. Zona Original), YSF (Sala del Techo de Felipe II) e YDR (Dormitorio del Rey), se detecta un incremento sobre todo en el contenido de Si y de Al, Fe y Mg, lo que es indicativo de la presencia de un mayor contenido de impurezas de cuarzo; éstas las clasificamos como de baja pureza, presentando un contenido en SO_3 por debajo del 40%.

La Tabla 9 recoge el índice de pureza en SO_3 obtenido, ordenado de mayor a menor.

Tabla 9. Grado de pureza de las muestras

YPD (1)	YPS (1)	YPM2 (1)	YPM1 (1)	YPS2 (1)	YPY2 (1)	YPL (1)	YCA (2)	YSJ2 (2)	YSJ (2)	YSC (3)
47,14	45,89	44,74	44,25	44,21	43,78	43,51	42,28	42,08	41,26	41,17

YSE (2)	YPM (2)	YCP (2)	YCR (2)	YSR (3)	YSA (3)	YPS3 (2)	YPY (2)	YSF (3)	YDR (3)
41,04	41,01	40,85	40,61	40,29	38,36	37,73	36,33	36,14	34,90

Tabla 10. Composición química de las yeserías del Convento de Santa Clara (mayoritarios y minoritarios)

Muestra	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	SO_3	PC	TOTAL
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
SCY1	8,17	2,17	0,95	0,03	1,77	29,35	0,07	0,59	0,09	0,03	38,84	18,46	100,55
SCY2	1,23	0,36	0,25	0,01	0,40	33,07	0,04	0,11	0,00	0,01	48,14	17,91	101,55
SCY3	0,17	0,08	0,07	0,00	ND	32,75	0,03	0,07	ND	0,01	50,05	20,93	104,00

Si comparamos estos resultados con los análisis realizados a las muestras murales halladas en el Convento de Santa Clara (SCY1, SCY2 y SCY3) (Tabla 10), observamos que existen grandes analogías en la composición de los yesos de las muestras almohades (SCY1 e YPY). Así mismo, concurre bastante similitud entre los obtenidos de fondos arqueológicos del Alcázar (YPM1 y 2) y de la Catedral (YPL, Museo Arqueológico de Sevilla), la Sala de la Justicia (YSJ), el Cuarto Real (YCR), el Cenador de la Alcoba (YCA), el Cuarto del Príncipe (YCP), el patio Muñecas (YPM), el Salón de Embajadores (YSE), la Sala del Techo de Carlos V (YSC) y la Sala de los Reyes Católicos (YSR), con la muestra SCY2 de Catalogación arqueológica (siglo XIII almohade).

Las yeserías procedentes del patio del Sol (YPS e YPS2) y patio del Yeso (Zona Restaurada YPY2) son semejantes a la muestra SCY3 del siglo XVI del Convento de Santa Clara, aunque con un contenido de impurezas algo mayor en las primeras.

Por último, la muestra correspondiente al patio de las Doncellas (YPD), la de mayor pureza de las analizadas, es la más parecida a la SCY3 del siglo XVI. Se puede destacar que los valores obtenidos en la muestra YPS3 (Patio del Sol, tercera toma), Sala del techo de Felipe II (YSF), Dormitorio del Rey (YDR) y la Sala de Audiencias (YSA) se hallan situados entre los hallados para SCY1 e SCY2, por lo que se podría inducir que sus valores podrían corresponder a un período intermedio entre el almohade y el mudéjar.

3.5.2.- Determinación de contenido en Carbonatos

Esta determinación solo se ha realizado sobre dos de las muestras de la primera campaña en las que se ha detectado mayor presencia de calcita y/o dolomita, siendo éstos compuestos los que pueden proceder de la carbonatación de la cal, no siendo éste el caso del aragonito. Todas las demás muestras, tomadas en campañas posteriores, en las que se ha detectado presencia de calcita, dolomita o aragonito, contienen una cantidad inferior o similar a las halladas en YPY e YPM2.

Los contenidos calculados ascienden, para el caso de la muestra **YPY** a un **4,6%**, y a un **4,3%** para la **YPM2**.

Teniendo en cuenta que en la muestra YPY existen tres fases aportadoras de carbonatos (aragonito, calcita y dolomita), y la primera no procede de la cal, puede deducirse que la calcita y dolomita son probablemente impurezas procedentes, o bien del aljez o del árido incorporado en la elaboración de la pasta, ya que si fuera una adición de cal intencionada para fabricar un mortero bastardo de yeso y cal, debería estar presente en proporciones más altas a las obtenidas.

Situación parecida sucede en la muestra YPM2, con dos fases aportadoras de carbonatos (aragonito y calcita) y con menor porcentaje aún que la anterior. Estas deducciones podrían trasladarse a las demás muestras con contenido en carbonato cálcico.

3.5.3.- Residuo insoluble en agua

Teniendo en cuenta la ligera solubilidad de los yesos en agua, se ha determinado el porcentaje de impurezas insolubles presentes en las muestras de yeserías, que en su mayor parte deben de proceder de las materias primas. Esto nos puede dar una idea de su preparación artesanal aunque, durante el largo período que dura este sistema artesanal de producción, los hornos se fueron mejorando para facilitar algunas operaciones.

El yeso dihidrato (rehidratado) a 20°C tiene una solubilidad en agua de 2,05 g/l. y la anhidrita natural de 3,0 g/l (Villanueva, 2001, p. 39 y 43).

A continuación se muestra en la tabla 11, la relación en orden creciente de las impurezas insolubles en agua obtenidas:

Tabla 11. Porcentaje de impurezas de las muestras de yeserías

Muestra	Peso Muestra	Peso Impurezas	Porcentaje s/muestra	
YPY	5,5008	1,5021	27,31	>10%
YPL	4,8880	0,9255	18,93	
YPS3	5,6167	0,9716	17,29	
YDR	2,78	0,26	9,35	5%-10%
YCA	4,8980	0,4050	8,27	
YPY2	3,8063	0,3117	8,19	
YSE	3,4316	0,2714	7,91	
YSF	1,05	0,08	7,62	
YSJ	3,9198	0,2757	7,03	
YPM2	5,2419	0,3346	6,38	
YSC	2,21	0,13	5,88	
YPM1	6,0430	0,2588	4,28	<5%
YPS	3,2166	0,1223	3,80	
YPS2	4,9317	0,1942	3,73	
YSJ2	3,0098	0,1119	3,72	
YCP	5,3068	0,1847	3,48	
YSA	0,59	0,02	3,39	
YSR	0,30	0,01	3,33	
YCR	3,8665	0,1196	3,10	
YPM	5,3245	0,1480	2,78	
YPD	4,6269	0,1008	2,18	

Todas las yeserías podrían separarse en tres grupos:

En primer lugar, aquellas cuyos porcentajes de impurezas son menores a un 5% de la muestra, que en orden decreciente corresponden al Patio Doncellas (YPD, Galería interior), Patio Muñecas (YPM), Cuarto Real (YCR), Cuarto del Príncipe (YCP), Sala de la

Justicia (YSJ2, 2ª Toma), Patio del Sol (YPS2, 2ª Toma) - Patio del Sol (YPS, 1ª Toma), Sala de Audiencias (YSA) y Sala de los Reyes Católicos (YSR).

En estos casos se sabe de sus intervenciones de restauración o renovación en diversas épocas, por lo que no es de extrañar una técnica de elaboración más depurada o una elección del material más selectiva según los casos. Podríamos suponer en principio que este conjunto de yeserías podrían corresponderse con una época moderna (siglos XVIII y XIX), al documentarse las actuaciones de 1833 sobre el Patio Muñecas (YPM) y el Cuarto del Príncipe (YCP)(Cómez, 1996).

El Cuarto Real o dormitorio de los Reyes moros fue enjalbegado en 1813 (Ford, 1980) ocultando los estucos en azul y oro (Cómez, 1996), posteriormente, durante el período isabelino (1843-68), fueron eliminados para recuperar las yeserías ocultas, donde tallistas y estuquistas se ocuparon de vaciar los adornos y formar los nuevos.

Así mismo, se verifica la modernidad de la muestra tomada en el patio del Sol (YPS), corroborada por el análisis de datación realizado, según se muestra en la tabla 21.

También YPS2 corresponde a un trabajo moderno, a la vista de la técnica y la base de apoyo de cemento sobre la que se asienta la misma. Igualmente, la yesería de la Sala de los Reyes Católicos (YSR) fue realizada en el siglo XIX, y la de la Sala de Audiencias (YSA), intervenida al menos, a lo largo del siglo XVI.

La muestra tomada en la Sala de la Justicia (YSJ2), aunque datada en principio como del s. XIV, por su ubicación en la esquina inferior del arco de acceso desde el Patio del León (intradós) ha podido ser reparada o complementada al tratarse de un punto situado a menor altura y más expuesto a golpes o deterioro. Por último, la pureza y el esmero empleado en la realización del yeso del patio Doncellas (YPD), dota a esta yesería de unas cualidades que la hacen pertenecer a este grupo, a pesar de haberse ejecutado dos siglos antes.

A éstas habría que añadir, aunque en el límite, la muestra arqueológica obtenida en el Patio de la Montería, correspondiente a su revestimiento exterior modelado o de yeso blanco más fino (YPM1) que el de la capa de base o de preparación (YPM2).

Un segundo grupo lo componen aquellas muestras con proporciones de impurezas situadas entre un 5 y un 10% , como la del Patio de la Montería en su capa de preparación YPM2, mencionada anteriormente, a las que hay que añadir las procedentes de la Sala de la Justicia (YSJ, 1ª toma), Salón de Embajadores (YSE), Patio del Yeso (YPY2, 2ª toma o zona restaurada), Sala del Techo de Felipe II (YSF), Sala del Techo de Carlos V (YSC), Dormitorio del Rey (YDR) y el Cenador de la Alcoba (YCA).

No constan obras de restauración en estos ámbitos, salvo las realizadas en el Patio del Yeso por Rafael Manzano (YPY2) entre 1969-1971 (Manzano, 1999). En este caso y debido a su técnica de preparación, se ha detectado un mayor contenido de sílice que en las demás¹³⁰, lo que podría justificar que se encuentre en esta banda.

El último grupo, con porcentajes bastante superiores al 10%, lo componen: la tercera muestra tomada del patio del Sol (YPS3), la muestra arqueológica almohade obtenida del patio Limones de la Catedral (YPL) y la almohade del Patio del Yeso (YPY, 1ª Toma), lo que demuestra una selección de las materias primas y/o elaboración de las pastas más artesanal y peor cuidada que las anteriores, lo que nos acercaría a la originalidad y antigüedad de las mismas.

El análisis del residuo ha proporcionado los resultados recogidos en la Tabla 12.

Tabla 12. Composición mineralógica de las impurezas

Mineral	Calcita CaCO ₃	Dolomita CaMg (CO ₃) ₂	Cuarzo SiO ₂	Albita Na(Al Si ₃ O ₈)	Magnesita MgCO ₃	Celestina SrSO ₄	Otros
YPM1	+	++	+	+	+	+	Enstatita
YPM2	++	++	++	--	+	+	Eugsterite Microclina
YPL	++	++	++	+	--	--	Ankerita Moscovita
YPY	++	++	++	+	--	--	Picromerita Mercallita
YPD	+++	+++	+	--	++	+	Ballerita Mercallita
YPS	++	++	+	--	+	--	Fosterita
YSJ	++	+++	++	--	++	--	Anhidrita Enstatita
YCR	+	++	+	+	+++	+	Wollastonita Lazurita Aragonito
YCA	++	+	+++	--	--	--	Microclina Aragonito
YCP	+	++	+	--	+++	--	Picromerita Hematite Enstatita
YPM	++	++	++	--	++	--	Sanidina
YSE	++	++	++	--	+	+	Anhidrita Starkeyita
YPY2	+	+++	+	+	--	--	Anortita
YPS2	+	+++	+	--	+	--	Yeso
YSJ2	++	+++	+++	--	++	--	Aragonito Nahcolita

¹³⁰ Según conversación mantenida con el escayolista que la restauró, está realizada sobre hormigón y malla de acero con un yeso grueso y fino

YPS3	+++	++	++	+	++	+	Gehlenita Aragonito
YSR	+	++	+++	--	+	+	Anhidrita Aragonito
YSF	++	+	+++	--	+	+	Aragonito Ilmenita Larnita
YSC	++	++	+++	++	--	--	Moscovita
YDR	++	+	+++	--	--	+	Aragonito Enstatita
YSA	++	++	++	+	--	+	Larnita
++++ Muy abundante +++ Abundante ++ Medio + Indicios – No detectado							

Enstatita = Silicato de magnesio; **Eugsterita** = Sulfato de calcio y sodio; **Microclina** = Silicato de aluminio y potasio; **Ankerita** = carbonato de calcio y hierro; **Moscovita** = Silicato de potasio y aluminio (mica blanca); **Picromerita** = Sulfato hidratado de potasio y magnesio; **Mercallita** = Sulfato de potasio hidrogenado; **Fosterita** = Silicato de magnesio; **Anhidrita** = Sulfato de calcio; **Wollastonita** = Silicato de calcio; **Lazurita** = Aluminosilicato con aniones de sodio y calcio; **Aragonito** = carbonato de calcio; **Hematite** = Oligisto u óxido férrico; **Sanidina** = Silicato de potasio, sodio y aluminio; **Starkeyita** = Sulfato de magnesio hidratado con cuatro moléculas de agua; **Anortita** = Aluminosilicato de calcio; **Nahcolita** = Carbonato de sodio hidrogenado; **Gehlenita** = Silicato de calcio, magnesio y aluminio; **Magnetita** = Óxido ferroso diférrico; **Ilmenita** = Titanato de hierro; **Larnita** = Silicato de calcio.

Los minerales más abundantes detectados en las impurezas no solubles se corresponden básicamente con los minerales encontrados en el análisis mineralógico de masas (apartado 3.5.4.), aunque con trazas de otros minerales.

3.5.4.- Análisis Mineralógico

Los minerales identificados se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Composición mineralógica de las yeserías (masas)

Mineral	Yeso (Sulfato de calcio dihidrato) $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Anhidrita CaSO_4	Aragonito CaCO_3	Calcita CaCO_3	Dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Cuarzo SiO_2	Celestina SrSO_4	Otros
YPM1	++++	+	+	+	+	+	+	Mag.-horn.
YPM2	++++	+	+	+	+	+	+	Mag.-horn. Ferrinatrita
YPL	++++	--	+	+	+	+	+	Mag.-horn.
YPY	++++	+	+	+	+	++	--	Mag.-horn.
YPD	++++	+	+	+	+	--	+	Magnesita Mag.-Horn.
YPS	++++	--	+	+	+	+	--	Ferrinatrita Magnesita Mag.-Horn.
YSJ	++++	--	+	+	+	+	+	Mag.-Horn. Magnesita

YCR	++++	--	+	+	+	+	+	Albita Ferrinatrita Magnesita
YCA	++++	+	+	+	+	+	+	Epsomita Mag.-Horn.
YCP	++++	--	+	+	+	+	+	Magnesita Picromerita
YPM	++++	+	+	+	+	+	+	Magnesita
YSE	++++	+	+	--	+	+	+	Mag.-Horn. Magnesita
YPY2	++++	--	+	--	+	+	+	Mag.-Horn.
YPS2	++++	+	+	+	+	--	+	Magnesita Mag.-Horn. Ferrinatrita
YSJ2	++++	--	+	+	+	+	+	Magnesita Epsomita, Ferrinatrita
YPS3	++++	+	+	++	+	+	+	Mag.-horn. Magnesita
YSR	++++	+	+	+	+	+	+	Mag.-horn. Magnesita
YSF	++++	+	+	+	+	+	+	Mag.-Horn. Magnesita
YSC	++++	+	+	+	+	+	+	Mag.-Horn. Magnesita
YDR	++++	--	+	+	+	+	+	Mag.-Horn. Magnesita
YSA	++++	+	+	+	+	+	+	Mag.-horn. Magnesita
SCY-1	++++	+	--	++	--	++	+	+
SCY-2	++++	--	--	+	+	--	+	+
SCY-3	++++	+	+	+	--	--	-	-

++++ Muy abundante +++ Abundante ++ Medio + Indicios – No detectado

Albita = aluminosilicato de sodio; **Magnesio-hornblenda** = silicato de magnesio; **Magnesita** = Carbonato de magnesio; **Ferrinatrita** = sulfato de sodio y hierro; **Epsomita** = sulfato de magnesio hidratado con siete moléculas de agua; **Picromerita** = sulfato hidratado de magnesio y potasio;

Además del yeso, se ha identificado la anhidrita (anhidrita II o insoluble, que cristaliza en el sistema ortorrómbico), cuya presencia se ha detectado en varias muestras. Ésta se puede obtener artificialmente calentando el dihidrato por encima de los 200°C (Wirsching, 1985), aunque también existe en la naturaleza. Como se apuntó en apartados anteriores, existen tres tipos de anhidrita II calcinada: La AII-s o anhidrita ligeramente soluble, producida entre los 300°C y los 500°C; La AII-u o anhidrita insoluble, producida entre los 500°C y los 700°C y la AII-E o anhidrita disociada parcialmente, producida por encima de los 700°C. La diferencia entre estos productos radica en el tiempo de rehidratación con agua, que para la A II-s es rápido (3 días), lento para la A II-u (7 días) y en un término medio para la A II-E, siendo posible la transición entre estos diferentes estadios de reacción (Wirsching, 1996).

La anhidrita insoluble o sobrecocida, reacciona muy lentamente con el agua, por lo que la presencia de esta, mezclada en más de un 20% en peso con el yeso cocido o hemihidrato, provocaría un retraso en el fraguado del mismo (Villanueva, 2001), lo que podría indicar una mezcla intencionada para alargar los tiempos de trabajo.

Gomá (1979), nos indica que a temperaturas comprendidas entre 280°C (a partir de los 100°C, según Wirsching) y 380°C se obtiene también anhidrita III o anhidrita soluble por deshidratación completa del hemihidrato, que cristaliza en el sistema hexagonal. La anhidrita III presenta dificultades para ser preparada de forma pura porque por encima de los 100 °C, empieza a formarse anhidrita II y entonces la anhidrita III reacciona inmediatamente con el vapor de agua para formar semihidrato (Wirsching, 1996).

Esta anhidrita se detecta en las muestras YPM1, YPM2 e YPY de la primera campaña (2008), en YPM, YPS2, YSE e YPS3 de la segunda (2009), y en YSF e YSR de la tercera (2010), en porcentajes muy pequeños, por lo que parece clara su presencia como impureza, debido a la sobrecocción de alguna fracción del aljez en el horno artesanal.

Dentro de las familias de los carbonatos se han identificado en la mayoría de las muestras aragonito, calcita y dolomita. El aragonito, presente en todas las muestras, es una fase polimorfa del carbonato de calcio menos estable que la calcita, que se presenta accidentalmente en terrenos sedimentarios, normalmente asociados al yeso o a la celestina en margas o arcillas, por lo que muy probablemente, se trata de una impureza que procede de la piedra de yeso o aljez, utilizada para la cocción.

La calcita, es un carbonato que podrían tener un triple origen, por un lado puede tratarse de impurezas presentes en la materia prima (al igual que el aragonito y la dolomita, Wirsching, 1985), por otro deberse a materias incorporadas al proceso de elaboración de la pasta (como arena caliza), y por último, pueden proceder de la carbonatación de la cal (cálcica o magnésica) que se pudiera haber añadido intencionadamente al yeso. Teniendo en cuenta que se encuentran como trazas, sería más lógico pensar en que su presencia fuera debida a su incorporación como impureza de la materia prima.

También la dolomita puede deber su origen al empleo de una arena dolomítica añadida a la pasta, aunque al igual que ocurre con la calcita su presencia como trazas, hace más lógico pensar que se trate de una impureza presente en la materia prima.

El cuarzo hallado en casi todas las muestras, salvo en YPD, YPS e YPS2, puede tener un doble origen, como impureza de la materia prima o árido incorporado en la elaboración de la pasta, lo que podría ser posible pero no probable, incluso para la muestra YPY.

Por último, la celestina o celestita, es un sulfato de estroncio anhidro con propiedades similares a la barita, ambos minerales con una alta presencia en la península. Existen dos tipos de mineralizaciones de celestina, interesándonos una primaria, que se presenta en niveles de rocas carbonatadas, con nódulos de 2 a 3 mm, constituidos por yeso o por yeso o celestina. En este caso, la transformación aragonito a calcita/dolomita liberaría cantidades relativamente importante de estroncio que al reaccionar con los nódulos de yeso originarían celestina (C.S. de Galdeano et al, 1984, p.274-275).

En la Fig. 78 se muestran los difractogramas de las muestras más representativas, pudiéndose asimilar las restantes a alguna de las representadas. Se puede observar una mayor concentración de cuarzo en YPY, más calcita en YPY y YPS3, y más anhidrita en YSE.

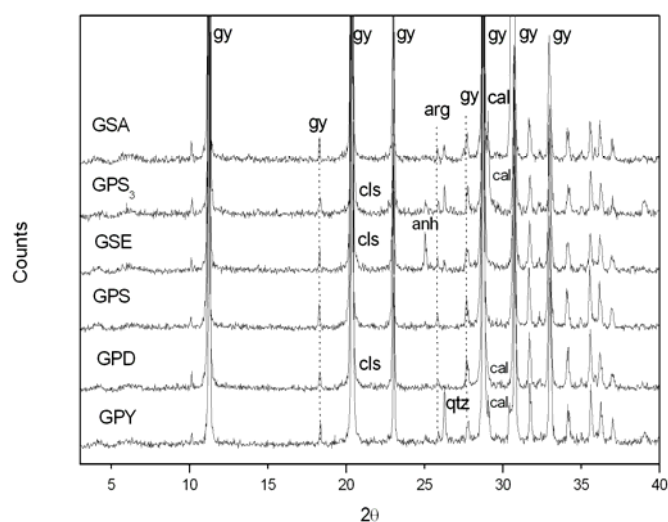


Figura 78. Difractogramas de las yeserías más representativas analizadas. Gy = yeso; cal = calcita; anh = anhidrita; qtz = Cuarzo y cls = celestina

3.5.5.- Análisis de componentes orgánicos

El método y equipo utilizado descrito anteriormente, no ha permitido determinar la presencia de componentes orgánicos de tipo proteínico, aunque sí los lípidos o ácidos grasos. Los resultados obtenidos se indican en la Tabla 14.1 y 14.2. Los valores ofrecidos por el equipo se han resumido, dejando solo los compuestos que ofrecen una correlación superior al 90%.

Tabla 14.1 Compuestos orgánicos de las yeserías

ORGANICO	YPM1	YPM2	YPY	YPY2	YPL	YSJ	YSJ2	YSE	YCR	YCA	YCP	
HEPTADECANO/9-OCTIL*	93		94	95		97*	97	98*				compuesto alifático saturado
EICOSANO							98	97				compuesto alifático saturado
HEXADECANO	98	96	98	95				98		94	94	compuesto alifático saturado
TRICOSANO, 2-METIL				95								compuesto alifático saturado
TETRACOSANO	96		95	98			98	99				compuesto alifático saturado
DOCOSANO							95	93				compuesto alifático saturado
PENTACOSANO								96				compuesto alifático saturado
HEXACOSANO							99	99				compuesto alifático saturado
HEPTACOSANO			98			98	96	96				compuesto alifático saturado
OCTADECANO		93	98				95	96			96	compuesto alifático saturado
OCTACOSANO	94	93						99				compuesto alifático saturado
HENEICOSANO							96	96		95		compuesto alifático saturado
BACCHOTRICUNEATIN								99		98		políciclo con furano y lactona en su estructura procedente de extracto de plantas. Propiedades insecticidas
D-LIMONENO	96	97	95	97		96			97	96	97	compuesto terpenoide procedente del aceite de limón
TRIDECANO	96		96	96		96			96	95	95	compuesto alifático saturado
1/2*-TETRADECENO		98			98					97*	97	compuesto alifático insaturado
CICLOPROPANO, NONIL		93			94					95		compuesto alifático saturado cíclico
TETRADECANO	98	98	98		98	98				98		compuestos alifático saturado
CICLODODECANO	96	96	94	95	95	96			97	96	95	compuesto alifático saturado cíclico
ACIDO BENZOICO, 4-ETOXI, ETIL			96							94		ácido carboxílico aromático
FENOL, 2,4-BIS (1,1 DIMETILETIL)/4 NONIL*	95	95		95						95	93	alcohol aromático
BENZOFENONA	95	95	97	95					95	97		cetona aromático
ISOPROPIL MIRISTATE	99		97		93					99		éster de ácido graso saturado
1-DODECENE	96				98	96					97	compuesto alifático insaturado
CICLOPENTANO, DECIL/NONIL*	98*	96*							95*		93	compuesto alifático saturado cíclico
PENTADECANO	96		96	95		95					94	compuestos alifático saturado
1-DODECANOL	95	95	91	95		95						álcohol alifático saturado
1,2-ACIDO BENCENEDICARBOXILICO	94	97	99		96							ácido carboxílico aromático
BUTILATED HIDROXITOLUENO			98	95		97			97			alcohol aromático con un grupo butoxi
DIETIL FTALATO			98	98	95	98						éster aromático
NONADECANO				97			97					compuesto alifático saturado cíclico

Tabla 14.2 Compuestos orgánicos de las yeserías

ORGANICO	YPS	YPD	YPS2	YPS3	YPM	YSR	YSF	YSC	YDR	YSA	
HEPTADECANO/9-OCTIL*		98*		96*							compuesto alifático saturado
EICOSANO	93	96		98		97	97		97		compuesto alifático saturado
HEXADECANO		97	94	93	96						compuesto alifático saturado
TRICOSANO, 2-METIL		95									compuesto alifático saturado
TETRACOSANO		99	95		95	97	97	96	96	97	compuesto alifático saturado
DOCOSANO		97			96	96		97	97	97	compuesto alifático saturado
2-BROMO DODECANO		97									compuesto alifático bromado saturado
PENTACOSANO		99	93			97	97	97			compuesto alifático saturado
HEXACOSANO		99								98	compuesto alifático saturado
HEPTACOSANO		96	93			98	98	98	96	98	compuesto alifático saturado
OCTADECANO	93	96	97	96	94	96	97	97	97	97	compuesto alifático saturado
OCTACOSANO		94			98			98	98	98	compuesto alifático saturado
HENEICOSANO	93	97				99	97	97	98	96	compuesto alifático saturado
BACCHOTRICUNEATIN			96	97							políciclo con furano y lactona en su estructura procedente de extracto de plantas. Propiedades insecticidas
D-LIMONENO			95	95	95						compuesto terpenoide procedente del aceite de limón
TRIDECANO				96	95	97	97	97	97	96	compuesto alifático saturado
1/2*-TETRADECENO	97		93								compuesto alifático insaturado
CICLOPROPANO, NONIL											compuesto alifático saturado cíclico
TETRADECANO	98		98		98	96	96			96	compuestos alifático saturado
CICLODODECANO											compuesto alifático saturado cíclico
ACIDO BENZOICO, 4-ETOXI, ETIL	97										ácido carboxílico aromático
FENOL, 2,4-BIS (1,1 DIMETILETIL)/4 NONIL*	95		96*	93	95						alcohol aromático
BENZOFENONA			97	97	94	96					cetona aromático
ISOPROPIL MIRISTATE	99			94	99						éster de ácido graso saturado
1-DODECENE			96	96	97						compuesto alifático insaturado
CICLOPENTANO, DECIL/NONIL*			91								compuesto alifático saturado cíclico
PENTADECANO					95	96					compuestos alifático saturado
1-DODECANOL											álcohol alifático saturado
1,2-ACIDO BENCENEDICARBOXILICO											ácido carboxílico aromático
BUTILATED HIDROXITOLUENO			97	96							alcohol aromático con un grupo butoxi
DIETIL FTALATO	98										éster aromático
NONADECANO											compuesto alifático saturado cíclico
ESCUALENO							98			99	Terpeno e hidrocarburo

Los compuestos alifáticos saturados e insaturados pueden ser perfectamente de origen natural, posiblemente derivados del petróleo, ya que desde antiguo se conocían yacimientos naturales de los que se extraían parafinas, aceites para lámparas, etc.

Los ésteres alifáticos (ácidos grasos) son compuestos que aparecen típicamente en esencias naturales puesto que dan lugar a olores agradables., además, en el caso de contener éstos cadenas muy largas se incluyen dentro del grupo de las ceras.

Los alcoholes alifáticos pueden ser productos derivados de la hidrólisis de estas ceras, ya que la hidrólisis de un éster de este tipo puede dar un alcohol de cadena larga por un lado y un ácido graso saturado de cadena larga por otro (Primo, 1994) (Weissermel-Arpe, 2003).

Los terpenoides¹³¹, son un tipo de lípido natural que se produce por repetición del isopreno, siendo en muchos casos, lípidos precursores de la biosíntesis de esteroides, por lo que se trata de compuestos que pueden tener un origen animal o, sobre todo y más probable en este caso, de origen vegetal. También el escualeno es un terpeno y un hidrocarburo, obtenido originalmente con propósitos comerciales desde el aceite de hígado de tiburón, aunque también existen fuentes botánicas como el salvado de arroz, el germen del trigo, y las aceitunas (aceite de oliva).

El difluororetinol es un terpenoide sintético, y aunque el retinol es una sustancia natural de la familia de los terpenoides, es raro que aparezca con dos moléculas de flúor en su estructura, por lo que según bibliografía consultada (Primo, 1994) (Weissermel-Arpe, 2003), este compuesto se obtiene por sintetización a partir de un derivado natural del retinol.

Los compuestos derivados de ácidos grasos insaturados, son fundamentalmente de origen vegetal (aceites vegetales), mientras que los que están completamente saturados están presentes en muchos casos en las grasas de animales, aunque no se puede afirmar categóricamente que un ácido graso no saturado sea de origen vegetal.

Los derivados aromáticos provienen del petróleo, pudiendo formar parte de los compuestos de aromas agradables, formando parte también de este tipo de compuestos, los aldehídos y cetonas.

En definitiva, la mayoría de los compuestos detectados, aunque con presencia muy residual, son muy probablemente de origen natural, con excepción de los clorados, los bromados, y sobre todo de los fluorados, con alguna probabilidad presencial en YPY2 (yesería restaurada actual). Los compuestos terpenoides pueden proceder, o bien de pigmentos naturales aplicados a las yeserías (las que tengan color), o de aceites o

¹³¹ Los terpenoides son los responsables de la pigmentación natural de las zanahorias, los tomates, o del color de las hojas en otoño

grasas que pudieran haberse añadido a las pinturas como aditivos. El uso principal de estos compuestos, es el de actuar como retardador de fraguado del yeso.

Así por ejemplo, el ácido cítrico presente en el D-Limoneno, es un retardador muy eficaz para los yesos, porque posee tres grupos carboxilos potencialmente ionizables, lo que da lugar a una mayor densidad de carga aniónica, provocando un desequilibrio cerca de las caras del yeso en crecimiento y en consecuencia un retraso en el fraguado del mismo (Singh y Middendorf, 2007).

3.5.6.- Microscopía electrónica de barrido (SEM)

Con esta técnica se han estudiado las secciones de las muestras YPY e YPM2, en las que se ha detectado una mayor presencia de calcita y/o dolomita.

Si la dispersión de la calcita es homogénea en la matriz del yeso, nos indicaría que estos carbonatos podrían corresponder a la adición de cal al mismo, mientras que si se hallan concentrados en granos o partículas indicaría que estos carbonatos se encuentran como impureza, procedentes de la materia prima (Aljez) o del árido presente en la pasta de yeso.

Como se observa en la imagen BSE de la figura 79 se trata de una sección de la muestra YPY de unos 3 mm de profundidad desde el borde exterior (parte superior de la imagen) hacia el interior (parte inferior de la imagen).

Al tratarse de una imagen obtenida mediante el modo de electrones retrodispersados (BSE) se puede diferenciar la presencia de elementos químicos ligeros (zonas grises y/o oscuras) frente a los pesados (zonas más claras). En ella se aprecia la existencia de unos pequeños granos de coloración blanca, indicativos de la existencia de elementos pesados, coincidentes mayoritariamente con el Sr (tal y como se aprecia en el mapping al comparar la primera y última de las imágenes, salvo por la presencia de un grano blanco situado en el centro y hacia la derecha que contiene Fe).

Con respecto al mapping correspondiente a los elementos S, O y Ca, se puede comprobar la elevada dispersión y abundancia de estos elementos en la muestra (zonas claras de la muestra). Esta situación es lógica, ya que se trata de los elementos presentes en la molécula de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (sulfato cálcico dihidrato), mineral mayoritario de la muestra. Las zonas más oscuras de estas imágenes corresponden, bien a poros o

huecos del material, o bien a la presencia de otros minerales que no contienen ninguno de estos elementos.

En el mapping correspondiente al Si, se observa una abundancia de granos blancos (alto contenido en Si), que corresponden mayoritariamente al mineral de cuarzo. Los granos con presencia de silicio, magnesio y aluminio coincidentes posicionalmente son silicatos (probablemente feldespatos).

Por último, en el mapping correspondiente al carbono, se puede comprobar la existencia de una mayor concentración de este elemento en la superficie de la muestra, situación previsible, teniendo en cuenta que esta yesería se encontraba pintada con una jalbega de cal (CaCO_3). También se puede observar que el C se encuentra homogéneamente disperso en partículas de pequeño tamaño, que pueden corresponderse con las impurezas de aragonito, calcita y dolomita detectadas, al tratarse de una dispersión continua pero no elevada, nos puede indicar que no se trata de una adición de cal, ya que si esto hubiera sido así, habría granos de mayor tamaño repartidos en la muestra, que se corresponderían con nódulos de cal sin dispersar (típicos de las cales artesanales), a la vez que se apreciaría una mayor abundancia y concentración de partículas con carbono. Tampoco parece tratarse de una adición de árido calizo, ya que esto quedaría reflejado en un reparto de partículas más gruesas en su masa.

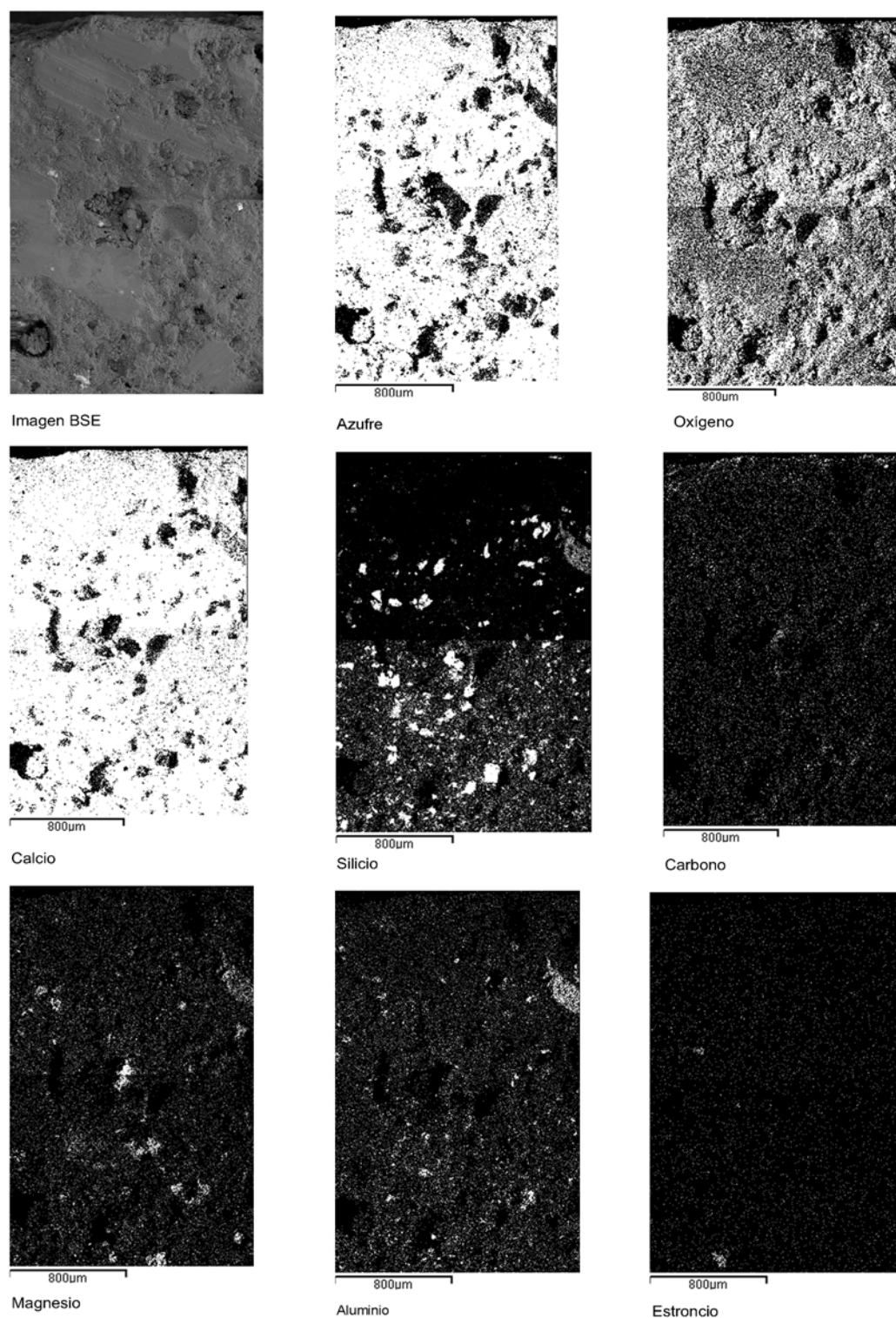


Figura 79. Imagen de la muestra YPY

Como se observa en la imagen BSE de la Figura 80, se trata de una sección de la muestra YPM2 de unos 3 mm de profundidad, con un menor contenido de impurezas que la anterior.

En ella se detecta la existencia de una zona con presencia de pequeños granos de coloración blanca, indicativos de la existencia de un elemento pesado, a la vez coincidentes con el Fe (tal y como se aprecia en el mapping al comparar la primera y última de las imágenes).

Con respecto al mapping correspondiente a los elementos S, O y Ca, se puede comprobar la elevada dispersión y abundancia de estos elementos en la muestra (zonas claras de la muestra). Esta situación es igualmente lógica, ya que se trata de los elementos presentes en la molécula de $\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (sulfato cálcico dihidrato), mineral mayoritario de la muestra. Las zonas más oscuras de estas imágenes corresponden, bien a poros o huecos del material, o bien a la presencia de otros minerales que no contienen ninguno de estos elementos.

En el mapping correspondiente al Si, se observa una abundancia zonal de granos blancos (alto contenido en silicio en alguna zona concreta), que se corresponden con el mineral de cuarzo, si no se solapan entre sí con los mapping del Mg, Al y Fe, ya que entonces los granos serían silicatos (probablemente feldespatos).

En el mapping correspondiente al carbono, se puede comprobar la existencia de una ligera concentración de este elemento en la superficie de la muestra, pero muy inferior a la anterior, ya que esta yesería pudo poseer una capa de jalbega en su día, pero al no renovarse y repetirse estas capas al quedar enterrada, la concentración de CaCO_3 es baja. También se puede observar que el carbono se encuentra homogéneamente disperso en partículas de pequeño tamaño, que pueden corresponderse con las impurezas de aragonito y calcita detectadas. Además, al igual que la anterior, al tratarse de una dispersión continua pero no elevada, puede indicar que no se trata de una adición de cal. Tampoco debe de tratarse de una adición de árido calizo, ya que esto quedaría reflejado en un reparto de partículas más gruesas en su masa.

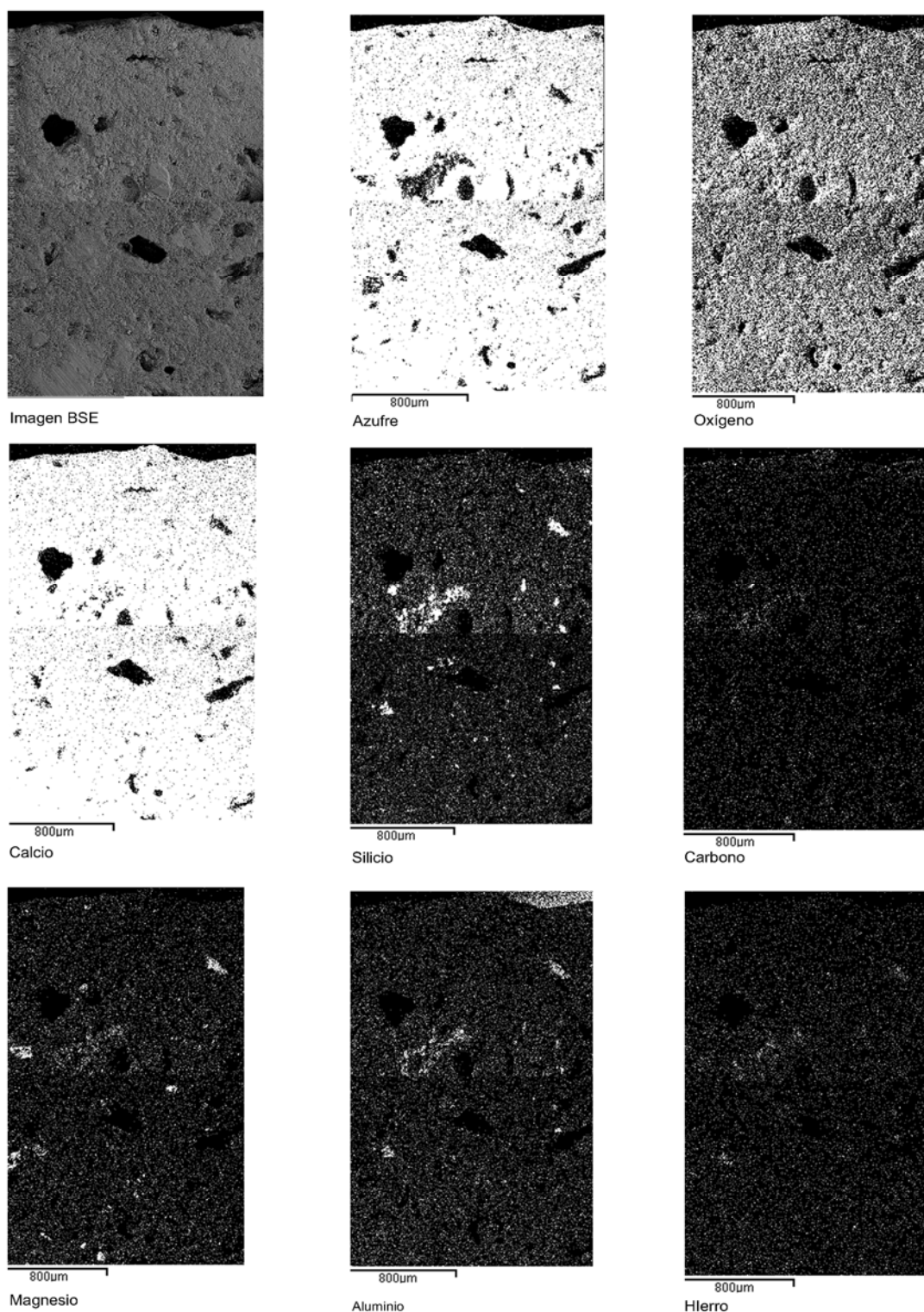


Figura 80. Imagen de la muestra YPM2

3.5.7.- Propiedades físicas: densidad real, densidad aparente y porosidad accesible al agua

Los resultados obtenidos para las muestras de yeso se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15. Propiedades físicas de las yeserías

Muestra	Densidad Real (gr/cm ³)	Densidad Aparente (gr/cm ³)	Porosidad Abierta (%)
YPM1 (1)	2,35	1,27	45,8
YPM2 (1)	2,35	1,21	48,4
YPL (1)	2,36	1,18	50,0
YPY (1)	2,37	1,38	41,9
YPD (1)	2,33	1,31	43,9
YPS (1)	2,11	1,12	47,0
YSJ (1)	2,35	0,98	58,5
YCR (2)	2,22	1,15	48,2
YCA (2)	2,39	1,05	56,0
YCP (2)	2,24	1,07	47,6
YPM (2)	2,37	0,97	59,0
YSE (2)	2,43	1,08	55,7
YPY2 (2)	2,30	1,06	50,0
YPS2 (2)	2,29	1,02	55,5
YSJ2 (2)	2,30	1,15	49,7
YPS3 (2)	2,38	1,21	49,1
YSR (3)	2,28	1,12	50,9
YSF (3)	2,34	1,22	47,8
YSC (3)	2,31	1,20	48,1
YDR (3)	2,30	1,03	55,1
YSA (3)	2,32	1,02	58,1
YSC1	2,29	1,18	48,6
YSC2	2,32	1,32	42,9
YSC3	2,25	1,38	38,7

(1) Campaña 2008 (2) Campaña 2009 (3) Campaña 2010

Respecto a las densidades reales, los valores obtenidos son próximos al que cabría esperar teniendo en cuenta que la densidad real del yeso puro es 2,31 g/cm³¹³². La densidad aparente es lógicamente menor debido a la elevada porosidad de las muestras. El agua que por estequiometría química precisa el yeso para la rehidratación es muy inferior a la necesaria para el amasado (para conferirle una mayor trabajabilidad a la pasta en estado fresco), de aquí que se produzca un exceso de agua que se evapora poco a poco durante el fraguado y endurecimiento, dejando una microestructura porosa

¹³² Wirsching, 1996, Tabla 2

en el rehidrato¹³³. Por tanto, los yesos con los que se ejecutan las yeserías suelen presentar unos valores de porosidad abierta elevados, superiores al 45%, motivo por el que se los puede clasificar como materiales muy porosos. Así, un semidrato amasado con una relación agua/yeso de 0,8, combina 80 gr. de agua con 100 gr. de hemihidrato, aunque sólo se utilizan 18,6 gr. de agua en la reacción de hidratación.

La relación agua de amasado/yeso incide por tanto directamente en la densidad aparente del rehidrato endurecido, lo que se muestra en la Tabla 16¹³⁴.

Tabla 16. Relación entre agua de amasado y densidad aparente

Agua/Yeso de amasado	Agua de amasado	Densidad Aparente
0,60	60%	1,1
0,70	70%	1,08
0,80	80%	1,0
0,90	90%	0,95
1,00	100%	0,88
1,20	120%	0,75

Estos datos se representan en la Fig. 81, donde la recta de regresión obtenida se ajusta a la siguiente ecuación:

$$y = 1.48 - 0.60x; \text{ siendo,}$$

y = densidad aparente

x = relación agua/yeso (w/y)

El coeficiente de regresión R ha sido -0,994, lo que nos indica, por una parte, que la relación existente entre las dos variables es inversa (a menor relación w/y mayor densidad y viceversa), y por otra, que la intensidad en la relación existente entre las dos variables es casi perfecta.

De todo lo anterior se puede afirmar que, mientras mayor es la porosidad de una muestra de yeso, mayor es la cantidad de agua que se empleó en la elaboración de la pasta¹³⁵ (lo que puede estar relacionado con la técnica de ejecución seguida), menor es su compacidad, la densidad aparente y la resistencia mecánica del producto fraguado¹³⁶.

¹³³ Villanueva, 2001

¹³⁴ Villanueva, 2001, Tabla 2.10

¹³⁵ Lo que puede estar directamente relacionado con la técnica de ejecución seguida

¹³⁶ Villanueva, 2001

Se ha observado que las relaciones de agua dadas por Villanueva para cada relación w/y, en realidad corresponderían a otros porcentajes de agua de amasado, ya que para la relación 0,60 el porcentaje de agua sería de un 37,5%, para la relación 0,70 sería de un 41,17%, para la 0,80 sería de un 44,44%, para la 0,90 de un 47,37%, para la 1,00 de un 50% y para la 1,20 de un 54,54%.

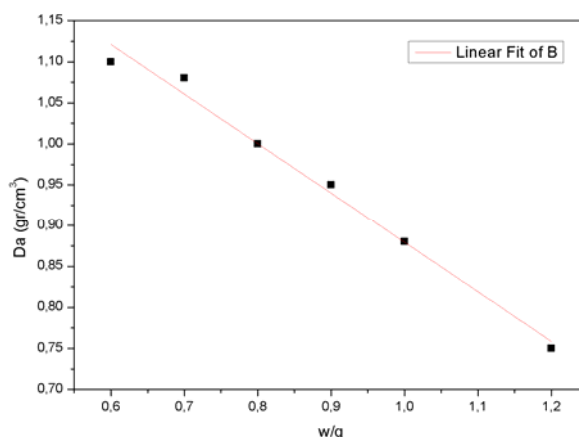


Figura 81. Relación entre Da y relación agua/yeso (w/y) de regresión

Dentro de los factores que influyen en la relación agua/yeso empleada, como se vio en los antecedentes de esta tesis, se pueden destacar:

- **La Finura.** La forma de la partícula, la distribución de su tamaño y la superficie específica también determinan la cantidad de agua requerida para obtener una consistencia específica. Generalmente el yeso muy fino requiere más agua que el yeso de grano grueso (Wirsching, 1996). Mientras mayor finura tengan las partículas componentes del yeso, más superficie específica tiene y más cantidad de agua se debe emplear para conseguir una pasta trabajable.
- **El Sistema de ejecución.** La historiografía nos permite determinar algunos datos referentes a las técnicas de ejecución empleadas antiguamente, la mayoría comentados en los antecedentes de este estudio, de manera que:
Antes del período nazarí, las yeserías se tallaban en fresco, empleándose a la par, a partir del siglo XIV, el procedimiento del vaciado en escayola. Los almohades habían trabajado el yeso conforme a la vieja técnica del empleo de la talla sobre el material blando aún, pero la talla se efectuaba, no sobre el paramento a decorar, sino en lugar aparte, adhiriéndose luego al mismo mediante

clavos metálicos. Con los nazaríes se generaliza la labra del yeso, mediante el procedimiento de vaciados en moldes (Guerrero, 1995).

Durante el Mudéjar las técnicas más usadas fueron la talla o cuchillo y el molde. En la primera, sobre el yeso fresco alisado con el fratás, se trazaba una retícula cuadrículada, que luego se vaciaba, retallaba y coloreaba, adoptando las diversas formas del ataurique. En la segunda, el uso de moldes permitía una labor más rápida, aunque una última faena se hacía también a cuchillo, permitiendo mostrar así la huella personal del artesano en los detalles (Cómez, 1996).

Hoy día, artistas magrebíes tallan obras en fresco, y aunque endurecen con el tiempo, se ablandan mojándolo nuevamente para permitir modificaciones en la decoración. La precaución a tener en cuenta en estos casos es que la resistencia a flexotracción de un yeso está influida por el grado de humedad. Según H. Andrews para un yeso amasado con un 60% de agua, en sus probetas desecadas se encontraron caídas de resistencia del orden de un 33% al añadirle un 0,04% de agua, y de un 52% para un porcentaje de agua añadida de un 1% (Arredondo, 1969).

Por tanto, cada sistema de ejecución (modelado, moldeado, labrado o tallado¹³⁷) precisa de una pasta de yeso con una determinada consistencia, por lo que se le puede haber añadido más o menos agua intencionadamente para conseguir una pasta más seca o fluida según el tipo de ejecución. Así, un tendido de yeso continuo, puede implicar la eliminación de parte del agua de amasado por compactación manual del mismo. El modelado en fresco precisa de un mayor tiempo de fraguado que el labrado o tallado del yeso una vez endurecido. Igualmente, la pasta para rellenar un molde en los yesos moldeados, precisa generalmente, de una consistencia más líquida para rellenar bien el molde.

- **Tiempo de Trabajabilidad.** El tiempo de fraguado es muy importante a la hora de utilizar una técnica de ejecución de una yesería. Existen diversos factores que modifican la duración de la pasta de yeso en estado plástico: cantidad de las fases presentes en el yeso (relacionado con el grado de cocción de la materia prima), temperatura del agua de amasado, el tiempo de amasado, la adición de aceleradores o retardadores y sobre todo la relación agua/yeso utilizada en el amasado. La cantidad de agua que se utiliza para el amasado, influye de la siguiente forma:

¹³⁷ Modelar= Obtener y formar una figura de una materia blanda; Moldear= Dar forma a una materia en un molde; Labrar= Trabajar una materia sólida dándole forma o formando relieves en ella; Tallar= Dar forma o trabajar un material

A mayor cantidad de agua el fraguado es más lento, ya que se dificulta el entrecruzamiento o formación de la estructura cristalina del dihidrato, produciéndose un yeso más poroso y menos resistente debido a la evaporación rápida de una mayor cantidad de agua.

Por el contrario, una menor cantidad de agua lo acelera, ya que se facilita la unión de los cristales del dihidrato, produciéndose un yeso de secado más rápido y más compacto.

Para trabajos de tallado o labrado se puede preparar un yeso de fraguado rápido y para trabajos de modelado es preciso que sea más lento (también, como retardador del fraguado al objeto de obtener un yeso más duro y resistente, se podía incorporar cola de origen animal u otro aditivo de tipo orgánico). Para labores de moldeado, se pueden emplear moldes con una gran riqueza de formas y detalles que precisen de una dosificación más líquida de la pasta que complete bien todos los espacios del molde, o bien se puede tratar de moldes más sencillos en sus formas que permitan el empleo de una pasta más plástica.

Como resumen de estos resultados se puede concluir:

- El valor de la porosidad abierta de las yeserías del Alcázar, ha oscilado dentro del intervalo del 41,9% a los 59%, valores que pueden considerarse normales para las pastas de yeso. En el caso de las muestras YSA, YSJ e YPM, las porosidades han sido del 58,1%, 58,5% y 59%, datos que indican que se empleó en ellas una mayor relación agua/yeso que en las demás, probablemente para conseguir una pasta con más tiempo de trabajabilidad, debido a la dificultad de conformación de su decoración floral (Figuras 82, 83 y 84), o que se haya añadido agua posteriormente durante la realización de los trabajos. No se descarta que al haberse tomado la muestra de una terminación en voluta y por su dificultad de ejecución mediante tallado en fresco, se le pudiera haber añadido más agua para poder conformar y/o repasar la compleja geometría buscada.
- El mismo argumento se puede aplicar a las muestras YSE o YDR con un 55,7% y un 55,1% de porosidad.
- Con respecto a las muestras YPM1 e YPM2, se trata de yeserías de pureza química muy similar, observándose que YPM1 ha tenido una porosidad

ligeramente inferior que la YPM2. A pesar de tratarse de muestras de procedencia arqueológica y no haberse podido constatar la presencia de clavos de fijación, sí se puede afirmar por la multitud de yeserías halladas en este Patio de la Montería, que éstas estaban realizadas en dos capas perfectamente definidas y diferenciadas, una capa base y otra de acabado.

El hecho de la diferencia de porosidad puede explicarse, teniendo en cuenta que YPM2 es la capa base de las dos, cuyo sistema de ejecución pudo haber sido el de una colada de yeso negro vertida por detrás de la placa una vez colocada la misma (Rubio, 2002), por lo que no sería de extrañar que ésta fuera más porosa, debido a la preparación más fluida de la pasta vertida por el reverso de la misma.



Figura 82. Yasería de la Sala de la Justicia



Figura 84. Yasería de la Sala de Audiencias



Figura 83. Yasería en sebqa del
Patio de las Muñecas

- YPS2 con un 55,5% de porosidad, es otro caso particular, dado que, además de su colocación hacia el exterior, ha sufrido humedad por filtración, procedente de algún aseo situado en el piso superior, lo que ha provocado un lavado y disolución parcial del yeso, desde que se produjo el salidero hasta su reparación.
- La muestra YCA posee un 56% de porosidad, lo que puede ser atribuible a su situación al exterior, lo que la hace más vulnerable a las humedades pudiendo

haber sufrido disoluciones parciales, a pesar de su protección con varias capas de enjalbegado de cal y yeso. Posiblemente se trate de placas de yeserías sujetas al paramento mediante clavos forjados (Fig. 85), según el sistema descrito por Rubio Domene (2002), según el cual las placas eran colocadas en el paramento de forma ordenada y sistemática. La dificultad práctica de su colocación estribaba en situar las piezas en un mismo plano con respecto al paramento en que se apoyaba, por lo que se colocaban las placas de yeso sobre el paramento mediante la aplicación de “tantos de barro” situados sobre el reverso de la placa, quedando fijados al mismo mediante presión con golpes, a la vez que se nivelaba con las placas contiguas. Tras este proceso, la placa quedaba nivelada pero sin sujeción permanente y hueca por su reverso, por lo que se vertía entonces una colada de yeso negro, de granulometría más gruesa y con más impurezas, de color gris, desde su parte superior para que la pieza permaneciera totalmente adherida al paramento. Durante la preparación de la placa, aún fresco el yeso, se colocaban clavos de hierro forjado de unos 12 cm. de longitud, introduciendo la cabeza del clavo en el interior de la masa de la misma, para que una vez endurecida quedara embutido en la placa y asomando por su reverso, constituyendo otro elemento más que contribuye a la fijación. Debido a la superficialidad de la muestra obtenida, no se ha podido confirmar la existencia de una capa o colada interior.



Figura 85. Detalle de los clavos de hierro que sostienen las placas de yeserías de GCA

- Las yeserías YPD e YPY han sido por el contrario las que han presentado unos valores de porosidad más bajos (43,9% y 41,9%), aunque probablemente por distintos motivos.

En el caso de YPD se trata de una yesería que tiene más de 4 cm de espesor y, para evitar el descuelgue de la misma durante su ejecución, es posible que se aplicara en varias capas compactadas y que la pasta utilizada se amasara con una

baja relación agua/yeso para obtener una consistencia seca, lo que ha disminuido en ambos casos la pérdida de agua por evaporación y por tanto la porosidad, procediéndose después a su tallado por paños una vez fraguado. Para YPY, debido a su textura gruesa con granos de cuarzo y a su probable ejecución mediante moldeado previo a la colocación, debieron emplearse bajas relaciones agua/yeso que conducen a un yeso de fraguado rápido y baja porosidad.

- Para YPS e YPS3, sus valores de porosidad han sido bastante parecidos, aunque superiores a YPD e YPY, siendo un 47% y 49,1%.

3.5.8.- Porosimetría de Mercurio

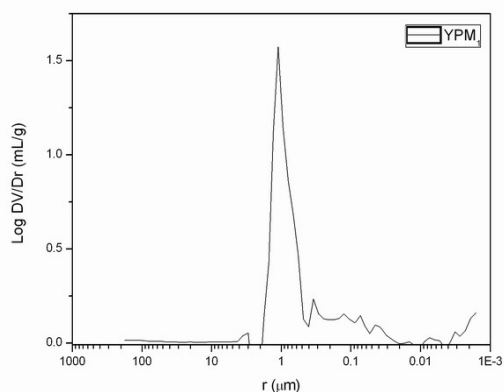
La porosimetría de mercurio se ha aplicado para conocer la distribución de tamaño de poros.

Se ha comprobado que la porosidad se concentra en poros con diámetros mayores a 1 μm de forma general, de forma que la mayoría de las muestras estudiadas presentan una distribución unimodal con un máximo destacado desde las 0,5 μm a 2 μm .

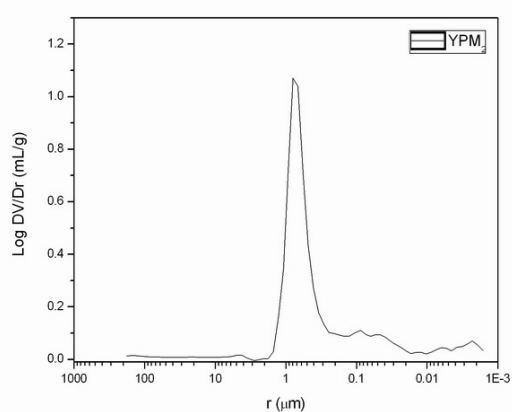
Un grupo de ellas muestran una segunda distribución de menor importancia en torno a las 0,05-0,2 μm . Tan solo la muestra YCA presenta una distribución bimodal atípica con respecto a las demás, ya que exhibe un máximo por encima de las 10 μm y otro de menor importancia por encima de 1 μm .

Se observa que en general, la porosidad va aumentando a medida que crece el radio del poro y el volumen del mismo, de manera que con radios iguales o mayores a 2 μm y relaciones de volúmenes de poros con respecto a sus radios de mayor valor, mas altas son las porosidades.

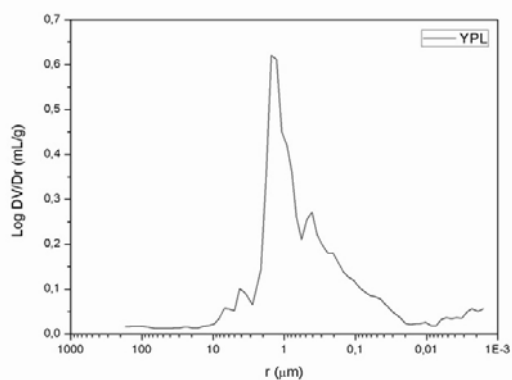
Se presentan a continuación las gráficas de todas las porosimetrías de las yeserías (Fig. 86, 87, 88 y 89).



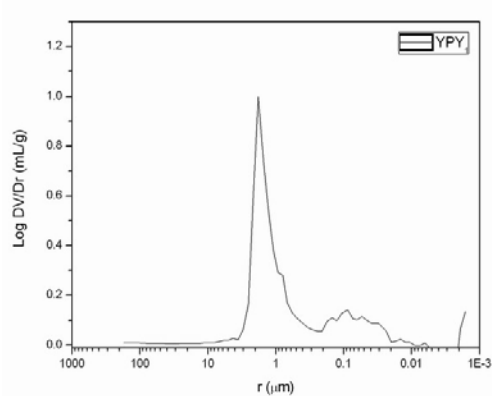
YPM1



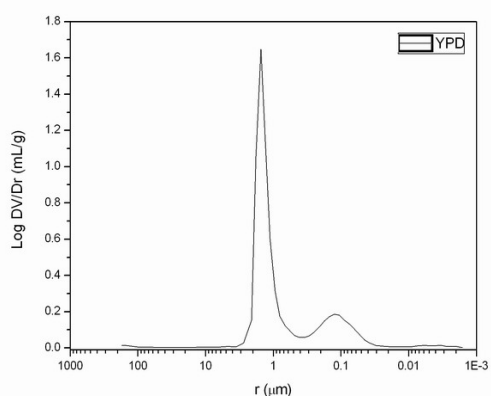
YPM



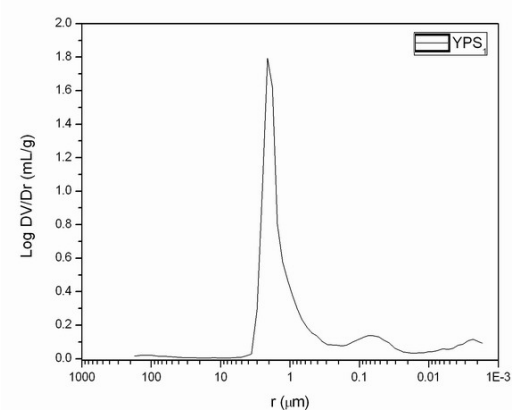
YPL



YPY

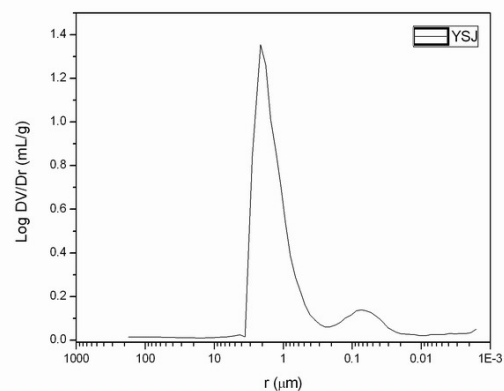


YPD

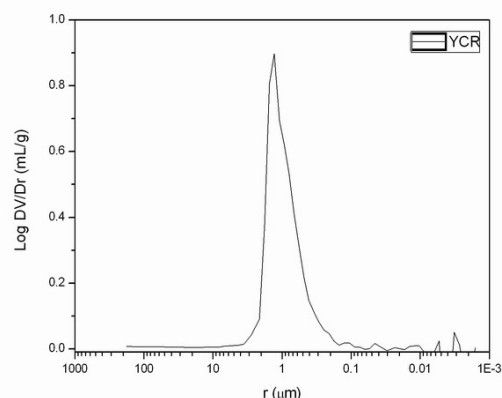


YPS

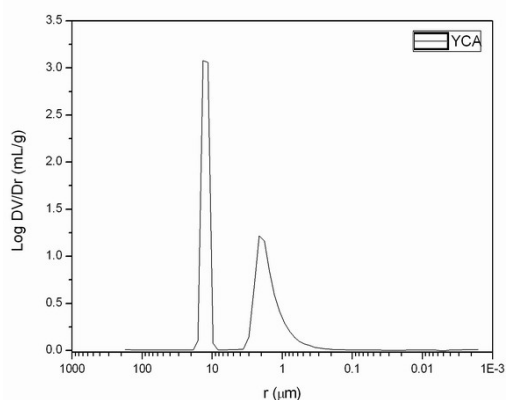
Figura 86. Diagramas de porosimetrías



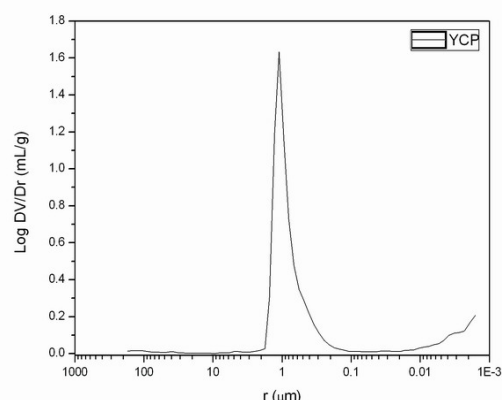
YSJ



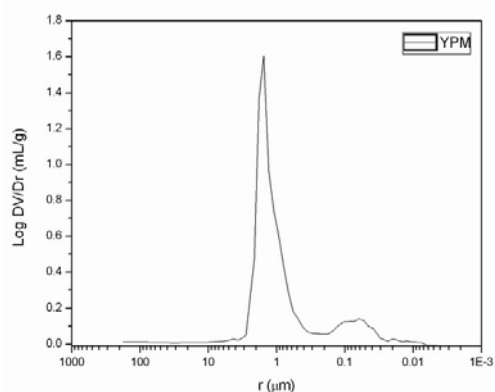
YCR



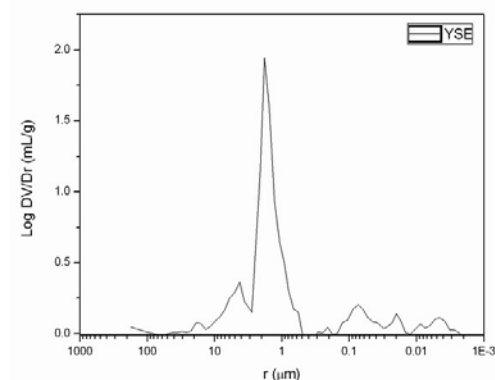
YCA



YCP

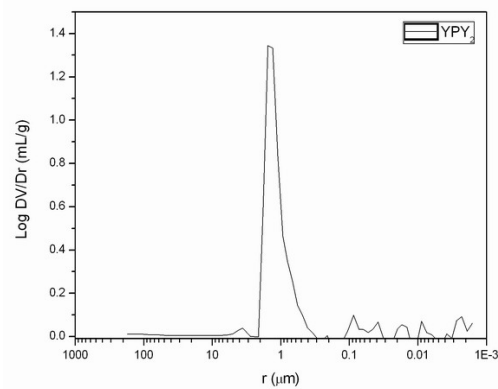


YPM

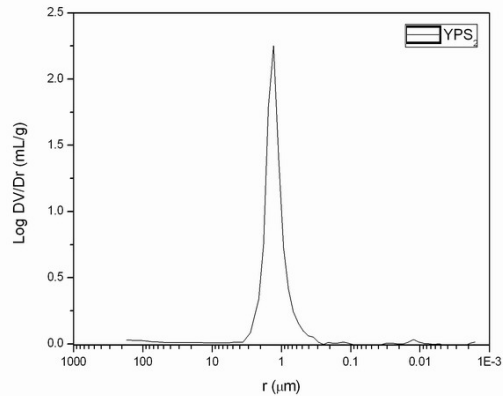


YSE

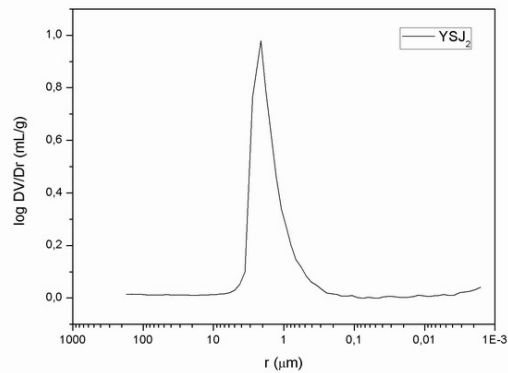
Figura 87. Diagramas de porosimetrías



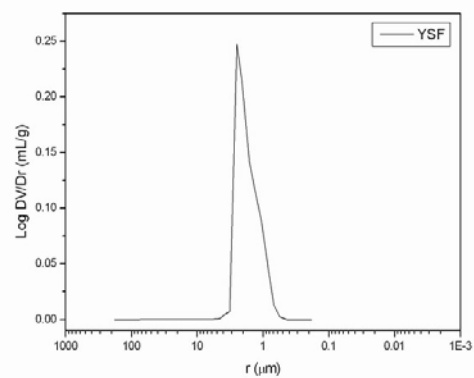
YPY2



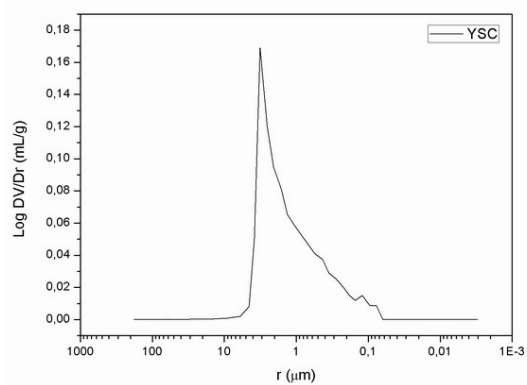
YPS2



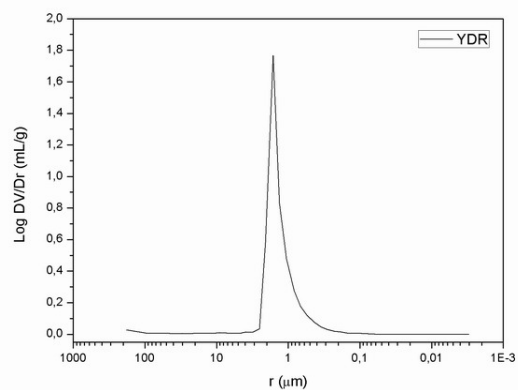
YSJ2



YSF

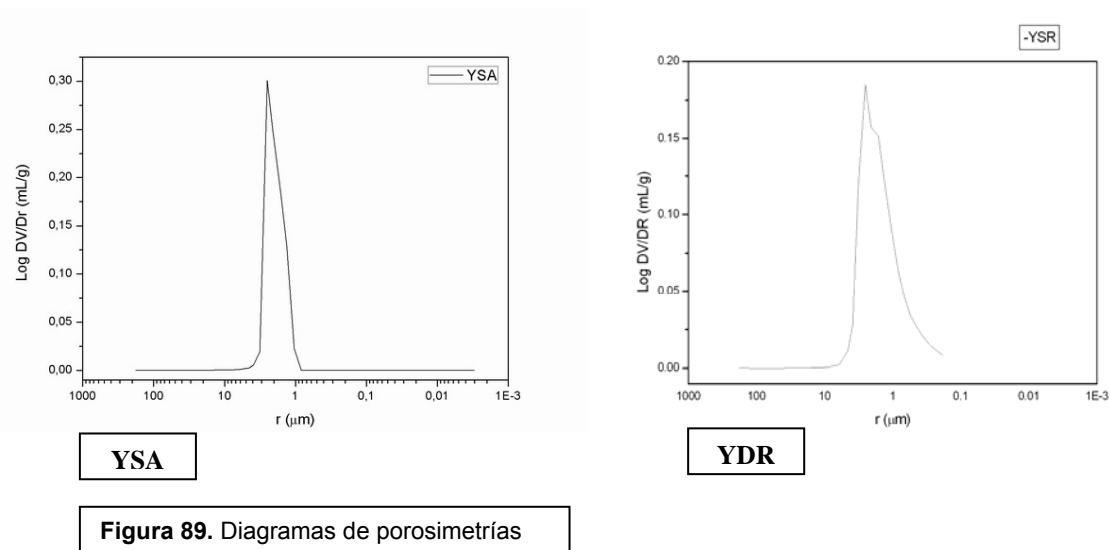


YSC



YDR

Figura 88. Diagramas de porosimetrías



3.5.9.- Dureza Superficial

La dureza es la propiedad que expresa la capacidad de un material para oponerse a ser deformado superficialmente por la acción física de otro.

La dureza superficial está influenciada por una gran cantidad de variables como son: la relación agua/yeso, tipo de yeso, espesor de aplicación, tipo de soporte, humedad del yeso, técnica de ejecución, etc., siendo la primera la más determinante, ya que como hemos comentado en el apartado anterior, a mayor relación agua/yeso mayor porosidad abierta y menor dureza superficial. Según Barriac para una reducción de 0,1 en la relación A/Y se ganan 7 unidades de dureza Shore C.

También la humedad relativa es un factor importante a tener en cuenta, ya que para aumentos de la humedad del 1% se producen caídas en los valores de la dureza de 20 a 30 unidades (Barriac, 1973). Por ello se debe conocer la humedad superficial del yeso antes de proceder a la medición de la dureza, sobre todo de los medidos in situ ya que en laboratorio se puede realizar la medición a peso constante,

La influencia del agua de amasado fue investigada por P. Barriac (1973) obteniendo un descenso casi lineal de la dureza con el aumento de la relación agua/yeso, desde una dureza de más de 90 unidades de dureza Shore C para una relación agua/yeso de algo menos del 0,5, hasta otra de menos de 50 unidades de dureza Shore C para una relación agua/yeso de 1,2.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17. Dureza superficial

DESIGNACIÓN	POSIBLE PERIODO DE CONSTRUCCIÓN	DUREZA SHORE C
YPM1 ¹³⁸	Siglo XII-XIII (Catalogación arqueológica)	74
YPY	Siglo XII-XIII	81
YPD	Siglo XIV	80
YPS	Siglo XIV-XVI	75
YSJ	Siglo XVI	67
YCR	Siglo XIV-XX	73
YCA	Siglo XIV-XVI	67
YCP	Siglo XIV	74
YPM	Siglo XIV	67
YSE	Siglo XIV	67
YPY2	Siglo XX	75
YPS2	Siglo XIII	70
YSJ2	Siglo XIV	72
YPS3	Siglo XIII	73
YSR	Siglo XIX	73
YSF	Siglo XVI	75
YSC	Siglo XIV-XVI	74
YDR	Siglo XIV-XVI	71
YSA	Siglo XIV	67

Estas medidas se han realizado sobre las muestras extraídas y desecadas en el laboratorio, una vez eliminadas sus capas de recubrimiento para que no se vean influenciados los resultados por este hecho. Además, aunque han sido pocas las muestras obtenidas para no dañar los paramentos y por tanto las superficies de ensayo, los resultados obtenidos (con una media de diez ensayos por muestra) se pueden considerar satisfactorios.

Con carácter comparativo se muestran en la tabla 18 algunos valores de dureza superficial que se pueden considerar como típicos para algunas clases de yesos de revestimiento actuales una vez secos. Se puede observar que todas las yeserías han presentado unos resultados de dureza que podrían considerarse como buenos o incluso elevados. Sólo las muestras de la Sala de la Justicia (YSJ), del Cenador de la Alcoba

¹³⁸ No se considera YPM2 por tratarse de una capa interior de la yesería. Por el mismo motivo tampoco se ha considerado YPL

(YCA), Salón de Embajadores (YSE), Patio de las Muñecas (YPM) y Sala de Audiencias (YSA), han tenido una dureza inferior o algo más baja.

Tabla 18. Dureza superficial en yesos de revestimientos actuales

TIPO DE YESO	Guarnecidos tradicionales	Guarnecido de perlita	Guarnecidos proyectados	Alta dureza
DUREZA SHORE C	40-60	70	70	80

Estas medidas de la dureza pueden proporcionar un dato de utilidad en el control de calidad de los productos a base de yeso una vez ejecutados en obra.

Profundizando en este extremo, se ha estudiado la relación existente entre la porosidad y la dureza (Tabla 19) de las muestras de yesería, calculando la recta de regresión, resultados que se muestran en la figura 90.

Tabla 19. Porosidad y dureza superficial de las muestras

Muestra	%Porosidad	Dureza
1 - YPM1	48,4	74
2 - YPY	41,9	81
3 - YPD	43,9	80
4 - YPS	47,0	75
5 - YSJ	58,5	67
6 - YCR	48,2	73
7 - YCA	56,0	67
8 - YCP	47,6	74
9 - YPM	59,0	67
10 - YSE	55,7	67
11- YPY2	50,0	75
12 - YPS2	55,5	70
13- YSJ2	49,7	72
14 - YPS3	49,1	73
15 - YSR	50,9	73
16 - YSF	47,8	75
17 - YSC	48,1	74
18 - YDR	55,1	71
19 - YSA	58,1	67

La recta de regresión obtenida tiene la siguiente ecuación:

$$D = 113,32 - 0,80P \quad \text{siendo } P = \text{porosidad (\%)} \text{ y } D = \text{dureza SC}$$

El coeficiente de regresión R ha sido -0,96, lo que indica que la relación existente entre las dos variables es inversa (a mayor dureza menor porosidad y viceversa), y que la intensidad en la relación existente entre las dos variables ha sido alta, aunque no perfecta. Este último hecho se debe tanto al pequeño número de muestras utilizado para su cálculo como a las condiciones en las que se ha debido efectuar la medida de la dureza sobre las probetas, ya que al contar éstas con relieves decorativos y no tratarse de superficies completamente planas, las medidas generadas con el durómetro pueden arrojar errores debido a su dificultad de aplicación.

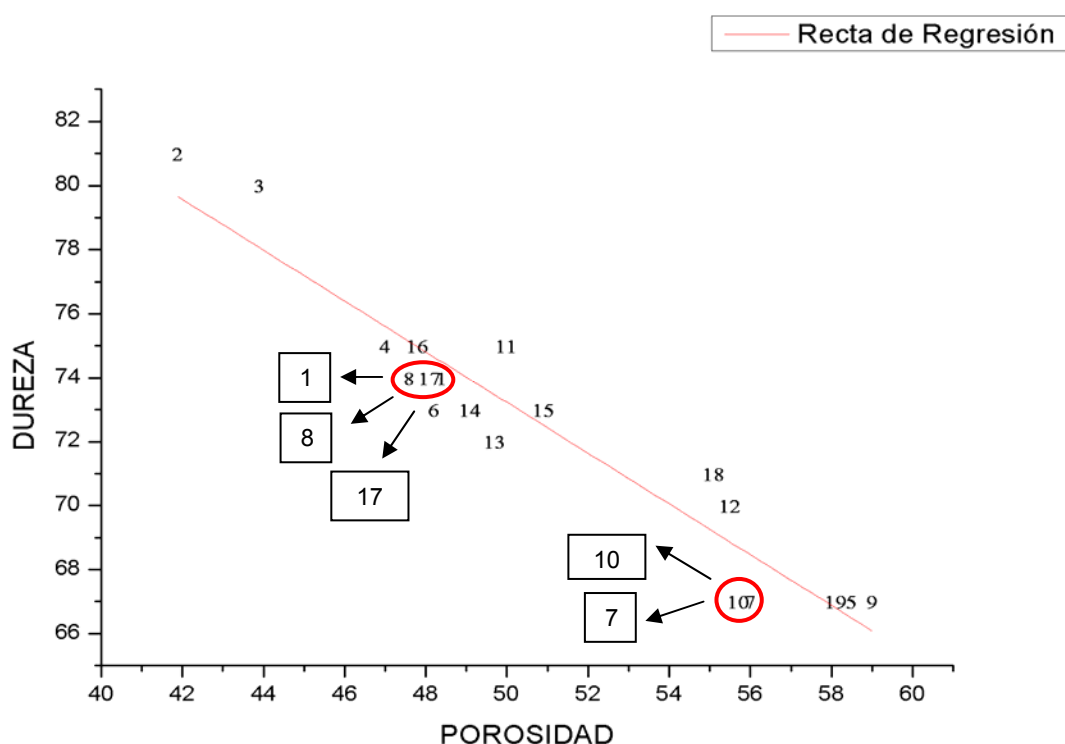


Figura 90. Relación Porosidad-Dureza

La ecuación obtenida, que relaciona la porosidad con la dureza, tiene como aplicación práctica poder calcular a partir de la medida de la dureza superficial con el durómetro Shore C (ensayo no destructivo de aplicación in situ) la porosidad de una yesería, propiedad que es indicativa de la calidad y estado de conservación de la misma.

Todos los datos obtenidos anteriormente, quedan reflejados en la Tabla 20, mostrándose además, en función de las densidades aparentes alcanzadas, el posible porcentaje de agua añadido a la pasta para su elaboración y la posible técnica de ejecución seguida.

Tabla 20. Valores de porosidad, dureza superficial, densidad aparente, agua añadida y posible técnica de ejecución

Muestra	Porosidad	Dureza	D. Aparente	% agua añadida	Posible Técnica de ejecución
YPY	41,9	81	1,38	< 37,5%	Moldeado
YPD	43,9	80	1,31	< 37,5%	Tallado
YPS	47	75	1,12	< 37,5%	Moldeado
YCP	47,6	74	1,07	< 37,5%	Moldeado
YSF	47,8	75	1,22	< 37,5%	Moldeado
YSC	48,1	74	1,20	< 37,5%	Moldeado
YCR	48,2	73	1,15	< 37,5%	Moldeado
YPM1	48,4	77	1,21	< 37,5%	Moldeado
YPS3	49,1	73	1,21	< 37,5%	Moldeado
YSJ2	49,7	72	1,15	< 37,5%	Modelado
YPY2	50	75	1,06	> 41,17%	Moldeado
YSR	50,9	73	1,12	< 37,5%	Moldeado
YDR	55,1	71	1,03	> 41,17%	Modelado
YPS2	55,5	70	1,02	> 41,17%	Modelado
YSE	55,7	67	1,08	> 41,17%	Modelado
YCA	56	67	1,08	> 41,17%	Moldeado
YSA	58,1	67	1,02	> 41,17%	Modelado
YSJ	58,5	67	0,98	> 44,44%	Modelado
YPM	59	67	0,97	> 44,44%	Modelado

3.5.10.-Datación temporal de la muestra YPS

Se ha confirmado la contemporaneidad de la restauración llevada a cabo por Manzano en el Patio del Sol (1968-1971), al obtener muestras de la zona de intervención con fibras vegetales en su masa y realizarle la datación mediante el Carbono 14 a las mismas. Los resultados obtenidos para la estopa o fibra natural hallada en la muestra de yeso YPS (Patio del Sol), se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21. Datación realizada en el Centro Nacional de Aceleradores

Código Muestra:	YPS	Código CNA:	CNA300
Tratamiento aplicado:	Limpieza AAA		
Edad Radiocarbono Convencional:	NA		
$\delta^{13}\text{C}$:	-9.4±1.1 ‰	pM:	152.4±1.2 (MODERNO)
Calibración 1σ (68% probabilidad): [Comienzo: Fin] Área relativa		[1964(May) - 1964(Jun)]0.053255 [1964(Sep) - 1964(Oct)]0.058772 [1968(Aug) - 1968(Oct)]0.064119 [1969(Apr) - 1970(Sep)]0.792154 [1971(Feb) - 1971(Mar)]0.031700	

Calibración 2σ (95% probabilidad): [Comienzo: Fin] Área relativa	[1964(Apr) - 1964(Oct)]0.112595 [1968(Jul) - 1971(Jun)]0.887405
---	---

Se puede observar, que la cronología más probable de estas fibras oscila entre junio de 1968 y junio de 1971, por lo que se puede afirmar que, al menos parte de la yesería restaurada de este Patio (la tomada de la cenefa superior de remate con el techo de planta baja), se corresponde con las fechas en las que Manzano restauró la sebka del Patio del yeso, entre los años 1969 y 1971 (Figura 91).

Hacer significar en este apartado, que el criterio de diferenciación entre lo antiguo y lo nuevo de esta restauración ha sido más difícil de distinguir que en el patio del yeso, por lo que han existido mayores dificultades a la hora de tomar las muestras.



Figura 91. Arquería mudéjar del patio del Sol restaurada por Manzano

3.5.11.- Análisis de capas. Microscopía Óptica

La conformación y estructura de las capas superficiales de las muestras se presentan en las Figuras 92, 93 y 94. No se ha realizado este estudio en las muestras de procedencia arqueológica, bien por poseer su superficie exterior muy deteriorada en la muestra que claramente conformaba un paño decorativo de acabado (YPM1), por tratarse de una capa base o de relleno interior tras la decoración (YPM2), o por tratarse de una muestra de masa interior (YPL).

Los espesores medidos en las capas de yeserías se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22. Estructura de capas superficiales

Muestra	Número de capas y material aplicado	Espesor/es de las capas (µm)
YPY	1 capa	400-600
YPD	1 capa	100-200
YPS	1 capa	150-200
YDR	1 capa	600-700
YSA	1 capa	1200-1700
YSF	1 capa	500-800
YSE _R	1 capa de pintura de color rojo	50-100
	1 capa intermedia transparente	150-300
	1 capa de pintura de color azul	100-200
YSE _A	1 capa de pintura de color azul	200-400
SE _D	1 capa de pintura color dorado	10
	1 capa de pintura color amarillo	50-100
	1 capa de pintura color blanco	200-250
YCA	1 capa	30
	3 capas	50-80 cada una
	1 capa	500
YSR	1 capa	100-150
	1 capa	750-1000



YPY 8



YPD 8



YPS 8 aumentos



YSJ 8 aumentos

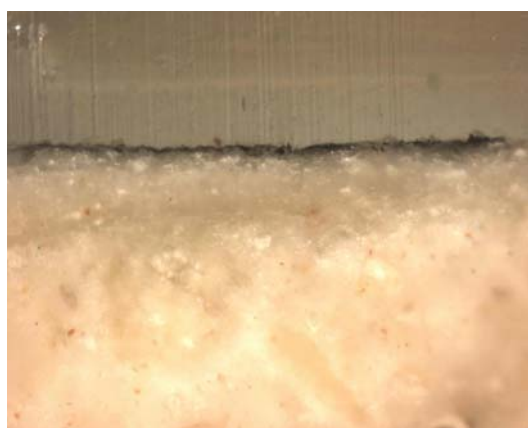


YCA 8
Aumentos



YCA 20
Aumentos

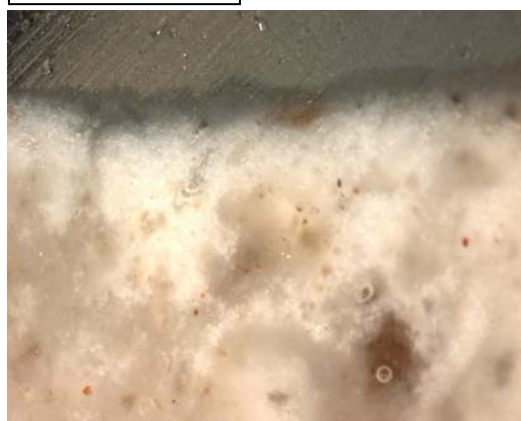
Figura 92



YCR 8
aumentos



YCP8
aumentos



YPM 8
aumentos



YSR 8
aumentos



YPY2 8
aumentos



YPS2 8
aumentos

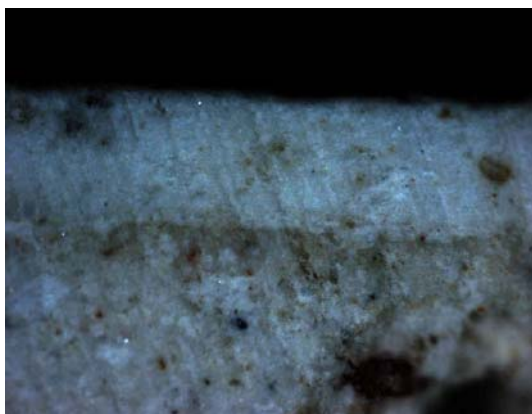
Figura 93



YSJ2 8
aumentos



YPS3 8
aumentos



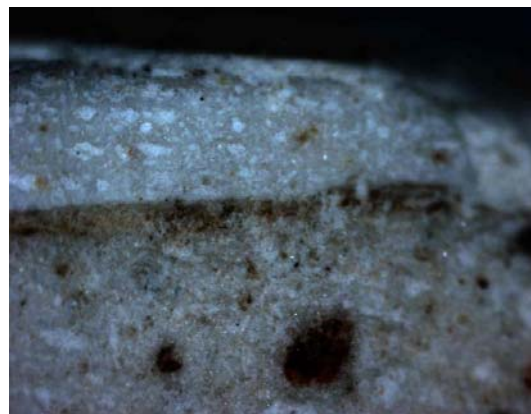
YDR 8 aumentos



YSA 8 aumentos



YSC 8 aumentos



YSF 8 aumentos

Figura 94

Como resultado de este estudio se observa que existen muestras de yeserías que poseen una sola capa de recubrimiento exterior con espesores variables (YPY, YPD, YPS, YDR, YSF e YSA); otras dos con varias capas (YSE, YSR e YCA) y un grupo de ellas sin recubrimiento exterior (YSJ, YCR, YCP, YPM, YPS2, YPY2, YPS3, YSC e YSJ2).

Señalar así mismo, que además de la muestra YSE_R, se han fotografiado otros dos fragmentos de la misma yesería, uno con terminación en color azul y otra en dorado, correspondientes a cada uno de los tres colores que conforman los angrelados del arco de este Salón.

Los tres fragmentos se muestran en la Figura 95.

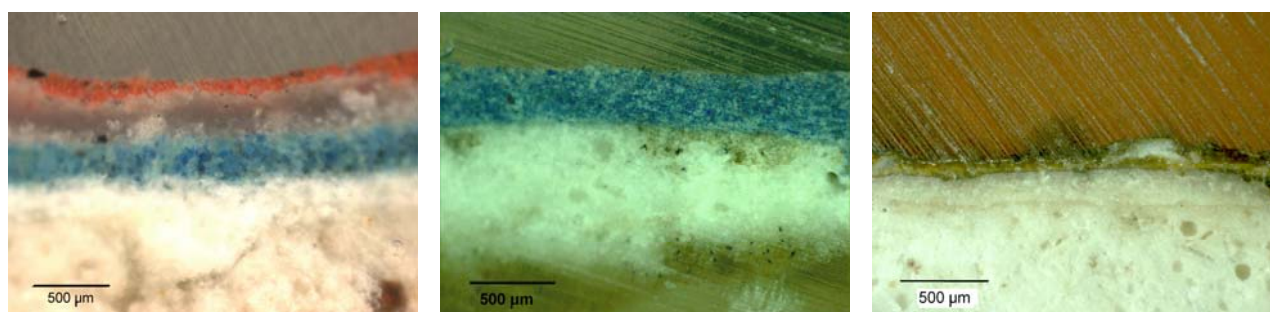


Figura 95

Destacar igualmente aquí, la presencia de un pigmento azul observado en la muestra YCR tomada de uno de los modillones del arco de división Sala-Alcoba, cuya composición se identifica en el siguiente apartado (3.5.12).

3.5.12.- Análisis de capas. Análisis Mineralógico

Las capas observadas se han analizado por DRX y los resultados se recogen en la Tabla 23.

Las yeserías YSJ, YCR, YCP, YPM, YPY2, YPS2, YPS3, YSC e YSJ2 están compuestas fundamentalmente por yeso dihidrato con impurezas en su capa exterior, pudiendo contener sustancias como cola animal o algunos tipos de sales para retrasar el fraguado¹³⁹. El hecho de cubrir la superficie de las yeserías con una aguada de yeso (enjalbegado de yeso) mezclada con algún tipo de aglutinante, como pudiera ser el

¹³⁹ Estas sustancias permitían por el ralentizado del fraguado la talla directa (López Borges, 2005), según apartado 3.5.5.

huevo, era una práctica habitual utilizada para ocultar uniones y restos de desmoldeante al objeto de unificar el conjunto¹⁴⁰.

En la muestra YCR se detecta presencia de lazurita (aluminosilicato con cationes sodio y calcio) $(\text{Na}_7\text{Ca})(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})(\text{SO}_4)_{1.5}(\text{SO})$, utilizada para la obtención de pigmento azul denominado azul ultramar¹⁴¹.

YPY posee una capa de yeso y anhidrita de bastante espesor, aunque con una mayor proporción de ésta última que la detectada en su masa; esto podría indicar una adición intencionada a la aguada, más que su presencia como impureza, debido a la sobrecocción de alguna fracción del aljez en el horno artesanal. Su grueso espesor puede ser indicativo de su aplicación con poca proporción de agua, por lo que más que una aguada podría ser una pasta bastante seca.

YPS presenta una capa de yeso y anhidrita con presencia de calcita e impurezas, lo que podría indicar una aplicación de enjalbegado de yeso, tras la restauración llevada a cabo por Rafael Manzano. También YDR posee una gruesa capa de yeso, posiblemente aplicada en una época posterior a la realización de la yesería original, al igual que YSR que tiene dos, una más gruesa interior y otra exterior de menor espesor.

Tabla 23. Composición mineralógica de las capas superficiales

Mineral	Yeso (Sulfato de calcio dihidrato) $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Anhidrita CaSO_4	Aragonito CaCO_3	Calcita CaCO_3	Dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Cuarzo SiO_2	Celestina SrSO_4	Otros
YPY	+++	+++	+	+	+	+	+	Weddellita Siderita
YPD	++	--	+	++++	+	+	--	Siderita Gehlenita Magnesita
YPS	++	++	+	++	+	--	--	Basanita
YSJ	+++	+++	+	--	+	--	--	Weddellita Siderita
YCR	++++	--	+	--	--	--	--	Anfibol Lazurita Diopsido
YCA	+++	--	+	++	+	+	--	
YCP	++++	--	+	+	+	--	+	Weddellita Anfibol
YPM	++++	--	+	+	+	+	+	Magnesita Ferrinatrita

¹⁴⁰ López Borges, 2005

¹⁴¹ Por tratarse de una muestra muy molida, por otro lado necesaria para el análisis de DRX, no se ha podido comprobar si el tamaño y forma de este pigmento es irregular con bordes rotos y color no uniforme, lo que indicaría que sería obtenido del lapislázuli y no del material sintético conocido como azul ultramarino, el cual fue producido artificialmente por primera vez en 1828(Ashok,R, 1993 y López Borges, 2005)

YSE	++++	+	+	--	+	+	+	Mag.-horn. Ferrinatrilita
YPY2	++++	--	+	+	+	+	--	Anfibol Weddellita
YPS2	++++	+	+	+	+	+	+	Mag.-horn.
YSJ2	++++	+	+	--	+	+	+	Magnesita
YPS3	++++	+	+	++	++	+	--	Thenardita
YSR	++++	+	+	+	+	+	--	--
YSF	++	--	++	++++	+	+	--	Weddellita Hematite
YSC	++++	--	+	+	++	+	+	Weddellita
YDR	++++	+	--	+	+	+	--	Weddellita Augita
YSA	++	+	--	++++	--	+	+	Gehlenita Cinabrio

++++ Muy abundante +++ Abundante ++ Medio + Indicios – No detectado

Siderita = Carbonato de hierro; **Barita** = Sulfato de bario; **Gehlenita** = Silicato de calcio, magnesio y aluminio; **Weddellita** = Oxalato cálcico dihidrato; **Anfibol** = silicato de calcio, magnesio e hierro; **Lazurita** = Aluminosilicato con cationes sodio y calcio; **Diópsido** = Silicato de calcio y magnesio; **Magnesita** = Carbonato de magnesio; **Ferrinatrilita** = sulfato de sodio y hierro; **Thenardita** = Sulfato de sodio; **Hematite** = Oligisto u óxido férrico; **Augita** = Aluminosilicato de hierro, calcio y magnesio; **Cinabrio** = Sulfuro de mercurio.

YPD tiene una capa exterior de enjalbegado de cal y yeso¹⁴², como se puede deducir de la presencia de yeso y calcita. La presencia de yeso en YPD se puede deber, además de a la contaminación por migración de éste hacia la capa externa, por la mayor penetración de los rayos X en la masa de yeso debido al menor espesor de esta capa en la muestra y por su mayor pureza. La presencia de siderita (FeCO_3) en la capa externa de YPD, identificada por DRX (Anexo 3), puede ser indicativo del característico color ocre observado en la superficie ya que este mineral puede ser utilizado como pigmento. Esto puede confirmarse por la presencia de gehlenita, mineral característico de los materiales cerámicos tras su cocción, conocido como polvo de ladrillo.

En YCA se detecta la aplicación a lo largo del tiempo de 4 capas de jalbega de cal y yeso, así como una intermedia de mayor antigüedad, de unas 500 micras de espesor, con un mayor contenido de sílice e impurezas que las exteriores, como primera capa de protección de la yesería. Esta capa intermedia de yeso y calcita, debido a su espesor, ha debido aplicarse con un menor contenido de agua, lo que la ha hecho más gruesa y consistente.

YSF e YSA presentan en ambos casos, una gruesa capa de calcita de cubrición, algo mayor en la Sala de Audiencias, con presencia de yeso en ambas.

¹⁴² Debido a la gran proporción de calcita detectada en su capa, por carbonatación del hidróxido de cal

Con respecto a la muestra YSE se han analizado varios fragmentos de la muestra de capas: el primero sin rastro de pintura alguno, formada fundamentalmente por yeso dihidrato con algunas impurezas; un segundo con diversas capas de color (roja, transparente o blanca y azul), así como un fragmento con acabado en color azul y otro terminado en color dorado.

En la Tabla 24 se recoge la composición mineralógica de estos fragmentos, con los acabados en color rojo (YSE_R, que además cuenta con una capa transparente intermedia y otra azul debajo), en tono azul (YSE_A, sobre yeso) y en dorado (YSE_D, sobre una capa amarilla y otra blanca).

Tabla 24. Composición mineralógica de la muestra YSE

Mineral	Yeso (Sulfato de calcio dihidrato) CaSO ₄ ·2H ₂ O	Arcanita K ₂ SO ₄	Cinabrio HgS	Masicote /Litargirio PbO	Cuarzo SiO ₂	Celestina SrSO ₄
YSE (Capa Roja)	+++	++	+	+	++	++
Mineral	Yeso (Sulfato de calcio dihidrato) CaSO ₄ ·2H ₂ O	Mirabilita Na ₂ SO ₄ (H ₂ O)10	Azurita Cu ₃ (OH) ₂ (CO ₃) ₂	Glauberita CaNa ₂ (SO ₄) ₂	Cuarzo SiO ₂	Anhidrita CaSO ₄
YSE (Capa Azul)	++++	++	++	++	+	+
Mineral	Yeso (Sulfato de calcio dihidrato) CaSO ₄ ·2H ₂ O	Cerusita PbCO ₃	Oro Au	Calcita Ca CO ₃	Cuarzo SiO ₂	Anhidrita CaSO ₄
YSE (Capa Dorada)	++++	++	+	+	++	++

La capa roja está formada por diversos minerales, manifestándose en su espectro el de sulfuro de mercurio o cinabrio (HgS), usado para obtener el pigmento bermellón, además de litargirio o masicote (PbO)¹⁴³ y otros minerales¹⁴⁴ como cuarzo e impurezas. El bermellón es un cinabrio reducido a polvo, estimándose que el utilizado en Andalucía procedería del yacimiento cercano a Almadén (Ciudad Real). Además estaba muy

¹⁴³ En sentido estricto la denominación masicote sólo es válida para el óxido de plomo obtenido por descomposición de compuestos de plomo a temperaturas inferiores a 400°C, mientras que el litargirio se refiere al óxido obtenido a partir de plomo fundido. Sin embargo litargirio y masicote suelen utilizarse como sinónimos. Max Doerner; *Los Materiales de pintura y su empleo en el arte*, ed. Reverté, S.A., ISBN: 84.291.1423-8, Barcelona, 1998, Pág. 53

¹⁴⁴ "El azufre que pueden contener otros colores en su composición, al entrar en contacto con el plomo, lo ennegrece, ya que lo convierte en sulfuro de plomo" PEDROLA, ANTONI; *Materiales, Procedimientos y Técnicas pictóricas*, Ed. Ariel, S.A., ISBN: 978-84-344-6726-2, Barcelona, [1998], 2004 (3ª edición ampliada), 2008 (5ª impresión)

extendido el uso del bermellón artificial, obtenido por la sublimación del azufre y mercurio unidos, método conocido desde época clásica y descrito por Plinio¹⁴⁵.

En el estrato azul, tanto en la tercera capa del primer fragmento como en la capa superficial del segundo, se ha hallado, además de yeso, un pigmento de este color compuesto por el mineral de azurita ($\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$) o carbonato básico de cobre, cuyo empleo parece estar más restringido a ejecuciones pictóricas que emplean aglutinantes orgánicos, siendo los más recomendados para utilizar la azurita en pintura mural la cola de origen animal y el huevo¹⁴⁶. Los compuestos de silicio podrían provenir de la sílice o de distintos silicatos.

En cuanto a los restos de color dorado, el oro puede provenir de la utilización de pan de oro para la decoración de los paramentos, como puede observarse en este magnífico salón. La aplicación de este pan de oro se solía realizar sobre una base de bol de yeso, lo que explica la presencia de yeso y anhidrita en la muestra. La aparición de plomo debido a la Cerusita, sugiere la utilización de albayalde (carbonato básico de plomo) que, junto con el yeso podrían constituir la preparación del dorado¹⁴⁷.

3.5.13.- Análisis de capas. SEM y Microfluorescencia de Rayos X

La composición de las capas encontradas se ha determinado también por microscopía electrónica, obteniendo el análisis elemental de cada una de ellas. Las capas de las muestras estudiadas son: YCA, YSE_R e YSE_D.

En la figura 96 se recoge la imagen de la muestra YCA y en la Tabla 25 aparece la composición elemental de las distintas capas.

En la capa más externa hay presencia de carbono, oxígeno y calcio, posiblemente de la calcita, así como azufre, oxígeno y calcio del yeso, además de otras impurezas como el silicio. Esto podría indicar que esta última imprimación fuera una aguada de cal y yeso, o bien tan sólo de yeso, ya que el calcio podría ser una contaminación de la inmediatamente inferior, ya que como puede observarse en las siguientes capas, la presencia de azufre es prácticamente nula, sobre todo en las más internas y antiguas.

¹⁴⁵ Medianero Hernández, José María "Aportaciones documentales sobre la técnica de la pintura Hispalense a fines de la Edad Media, Laboratorio de Arte, Departamento de Historia del Arte, Sevilla, 1993, pág. 69

¹⁴⁶ Matteini en 2001 describe que los carbonatos de cobre como la azurita, se alteran con la alcalinidad del hidróxido de calcio, induciéndose un cambio de color debido a la formación de óxido de cobre negro, incompatibles con la pintura al fresco. Lo que en principio no debe ocurrir con el yeso al no ser alcalino. Matteini, Mauro; Moles, Arcangelo; *La Química en la restauración (La Chimica nel restauro. I materiali dell'arte pittorica)*, Nardini editore 1989, de la edición castellana Ed. Nerea, S.A., 2001, ISBN: 978-84-89569-54-6, San Sebastián, 2001

¹⁴⁷ Martín de Hijas, 2008

Tabla 25. Composición elemental de las capas de YCA

Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
C	11,51	17,76	42,17	CO2
Al	0,29	0,20	0,54	Al2O3
Si	1,01	0,66	2,15	SiO2
S	11,86	6,86	29,62	SO3
Ca	18,00	8,32	25,19	CaO
Fe	0,26	0,09	0,33	FeO
O	57,08	66,12		
Totals	100,00			

a) Composición elemental de la capa externa

Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
C	16,02	24,29	58,71	CO2
S	0,56	0,32	1,40	SO3
Cl	0,42	0,22	0,00	
Ca	28,21	12,81	39,47	CaO
O	54,79	62,36		
Totals	100,00			

b) Composición elemental de la capa 2

Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
C	15,19	23,48	55,68	CO2
Si	0,22	0,14	0,47	SiO2
S	0,25	0,15	0,63	SO3
Cl	0,52	0,27	0,00	
Ca	30,52	14,13	42,70	CaO
O	53,29	61,82		
Totals	100,00			

c) Composición elemental de la capa 3

Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
C	14,85	23,17	54,42	CO2
Si	0,20	0,13	0,42	SiO2
Cl	0,50	0,26	0,00	
K	0,08	0,04	0,10	K2O
Ca	31,85	14,89	44,56	CaO
O	52,52	61,51		
Totals	100,00			

d) Composición elemental de la capa 4

Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
C	17,79	25,70	65,18	CO2
Na	0,31	0,24	0,42	Na2O
Mg	0,25	0,18	0,42	MgO
Al	0,54	0,35	1,02	Al2O3
Si	1,98	1,22	4,24	SiO2
Cl	0,40	0,19	0,00	
K	0,26	0,12	0,32	K2O
Ca	19,53	8,46	27,33	CaO
Ti	0,12	0,04	0,20	TiO2
Fe	0,37	0,11	0,47	FeO
O	58,44	63,39		
Totals	100,00			

e) Composición elemental de la capa 5 de mayor espesor y antigüedad

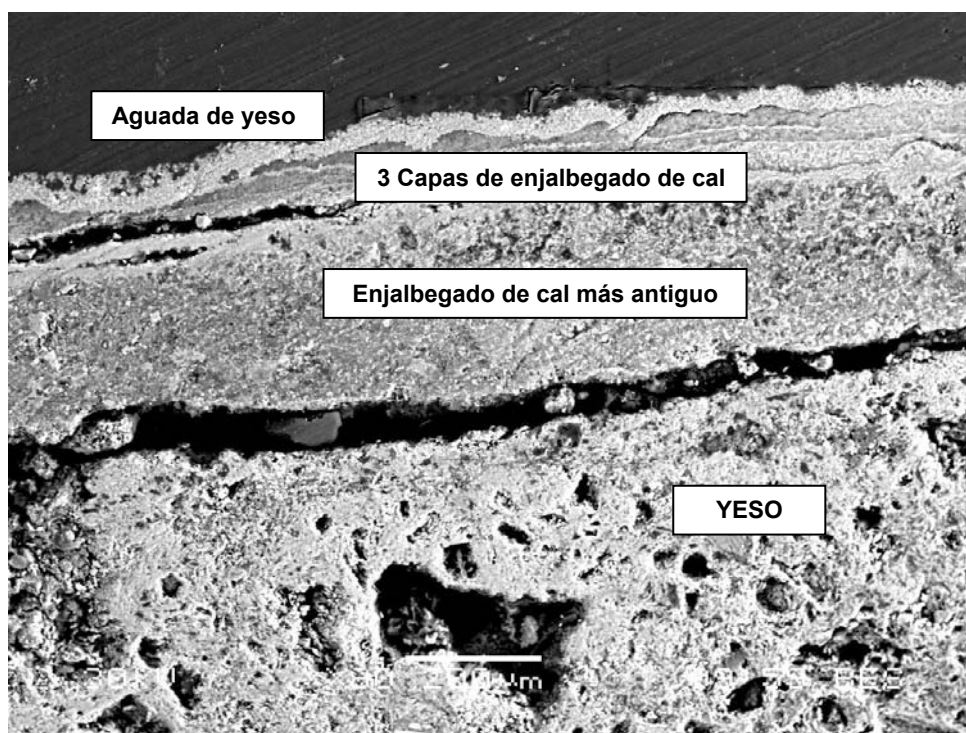


Figura 96. Imagen SEM de las distintas capas de YCA

En la figura 97 se recoge la imagen de la muestra YSE_R y en las Tablas 26, 27 y 28 aparece la composición de las distintas capas.

En la capa roja se confirma la presencia de los elementos que componen los minerales hallados por DRX, Mercurio, plomo, azufre, oxígeno y silicio. El carbono detectado puede provenir del compuesto orgánico utilizado en la aplicación o bien de la resina de metacrilato utilizado para la preparación de las muestras.

Tabla 26. Composición elemental de la capa Roja de YSE_R

Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
C	17,63	28,87	64,58	CO2
Al	0,18	0,13	0,33	Al2O3
Si	0,35	0,25	0,76	SiO2
S	2,86	1,75	7,13	SO3
K	0,22	0,11	0,27	K2O
Ca	0,50	0,24	0,70	CaO
Hg	5,34	0,52	5,76	HgO
Pb	19,00	1,80	20,47	PbO
O	53,93	66,32		
Totals	100,00			

El análisis por electrones retrodispersados de la capa azul (YSE_R) confirma los minerales descritos por DRX, al constatare la presencia de cobre, carbono y oxígeno de la azurita por un lado, azufre y calcio del yeso por otra, además de otras impurezas detectadas en el espectro.

Tabla 27. Composición elemental de la capa Azul de YSE_R

Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
C	17,06	26,25	62,52	CO ₂
Al	0,36	0,25	0,69	Al ₂ O ₃
Si	1,01	0,66	2,16	SiO ₂
S	1,77	1,02	4,43	SO ₃
Cl	1,16	0,60	0,00	
K	0,14	0,06	0,16	K ₂ O
Ca	2,22	1,03	3,11	CaO
Fe	0,20	0,07	0,26	FeO
Cu	19,88	5,78	24,89	CuO
Pb	0,58	0,05	0,63	PbO
O	55,61	64,22		
Totals	100,00			

La capa transparente que separa los colores bermellón y azul del primer fragmento, contiene azufre, calcio y oxígeno del yeso y la anhidrita detectados por DRX. También se revela algo de cobre y plomo debido a la contaminación de la capa inferior, aunque no así el mercurio de la superior, además del silicio y mínimas cantidades de impurezas.

Tabla 28. Composición elemental de la capa Transparente de YSE_R

Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
C K	19,09	26,25	69,96	CO ₂
Si K	0,14	0,08	0,30	SiO ₂
S K	6,63	3,41	16,54	SO ₃
Ca K	8,24	3,40	11,53	CaO
Cu K	0,90	0,23	1,13	CuO
Pb L	0,50	0,04	0,54	PbO
O	64,50	66,58		
Totals	100,00			

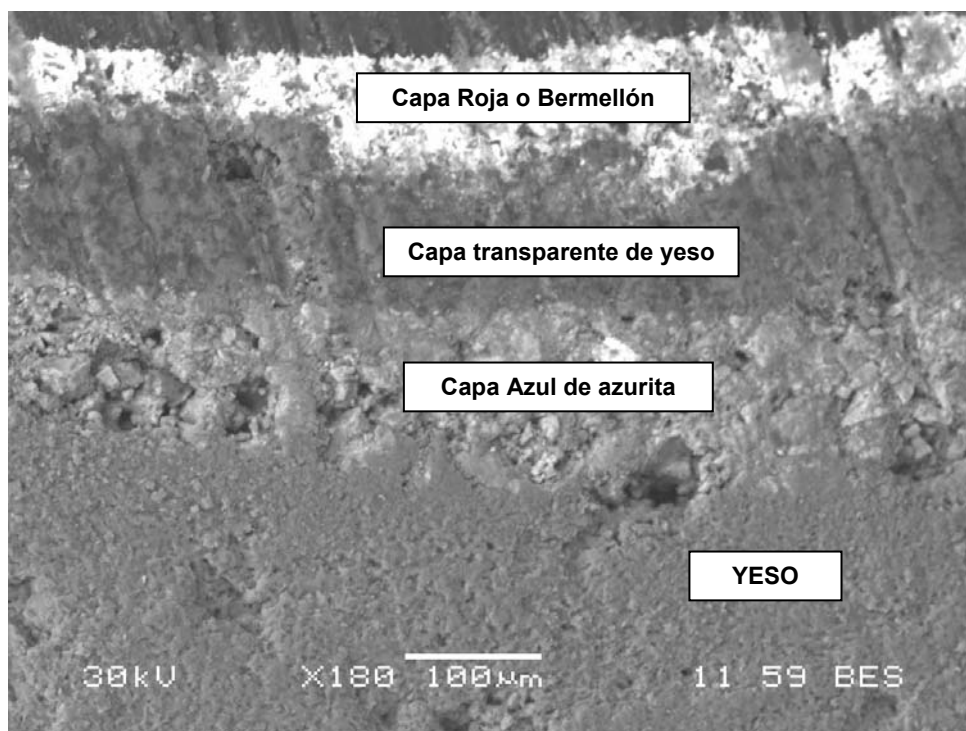


Figura 97. Imagen SEM de las distintas capas de YSE_R

En la figura 98 se recoge la imagen de la capa dorada de la muestra YSE_D y en las Tablas 29, 30, 31 y 32 aparece la composición de las distintas capas. La capa dorada se apoya sobre otra de color amarillo, y esta a su vez sobre otra blanca aplicada sobre el yeso. En esta capa se detecta la presencia del oro como mayoritario, con algo de plata, además de plomo.

Tabla 29. Composición elemental de la capa Dorada de YSE_D

Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Ca	5,45	10,52	7,62	CaO
Ag	2,44	1,75	2,62	Ag ₂ O
Au	68,93	27,09	77,33	Au ₂ O ₃
Pb	11,54	4,31	12,43	PbO
O	11,65	56,33		
Totals	100,00			

En cuanto a la capa amarilla, de la que no se ha podido realizar su análisis por DRX debido a la falta de muestra, se detectan el carbono y oxígeno como mayoritarios, además de silicio, hierro y aluminio como impurezas, lo que nos lleva a una probable composición de algún compuesto orgánico.

Tabla 30. Composición elemental de la capa Amarilla de YSE_D

Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
C	25,74	32,51	94,31	CO ₂
Al	0,50	0,28	0,94	Al ₂ O ₃
Si	0,73	0,39	1,56	SiO ₂
Fe	0,44	0,12	0,57	FeO
Pb	2,44	0,18	2,62	PbO
O	70,16	66,52		
Totals	100,00			

Con respecto a la capa blanca aplicada antes que la amarilla y la base de yeso sobre la que apoya ésta, se observa una composición muy similar entre ambas, típica de un yeso dihidrato, aunque con más impurezas en la base de yeso.

Tablas 31 y 32. Composición elemental de la capa blanca y la de base de yeso de YSE_D

Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
S	22,97	16,33	57,36	SO ₃
Ca	30,47	17,33	42,64	CaO
O	46,55	66,33		
Totals	100,00			

Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Al	0,39	0,33	0,74	Al ₂ O ₃
Si	0,53	0,43	1,13	SiO ₂
S	22,43	15,93	56,02	SO ₃
Ca	30,10	17,09	42,11	CaO
O	46,55	66,22		
Totals	100,00			

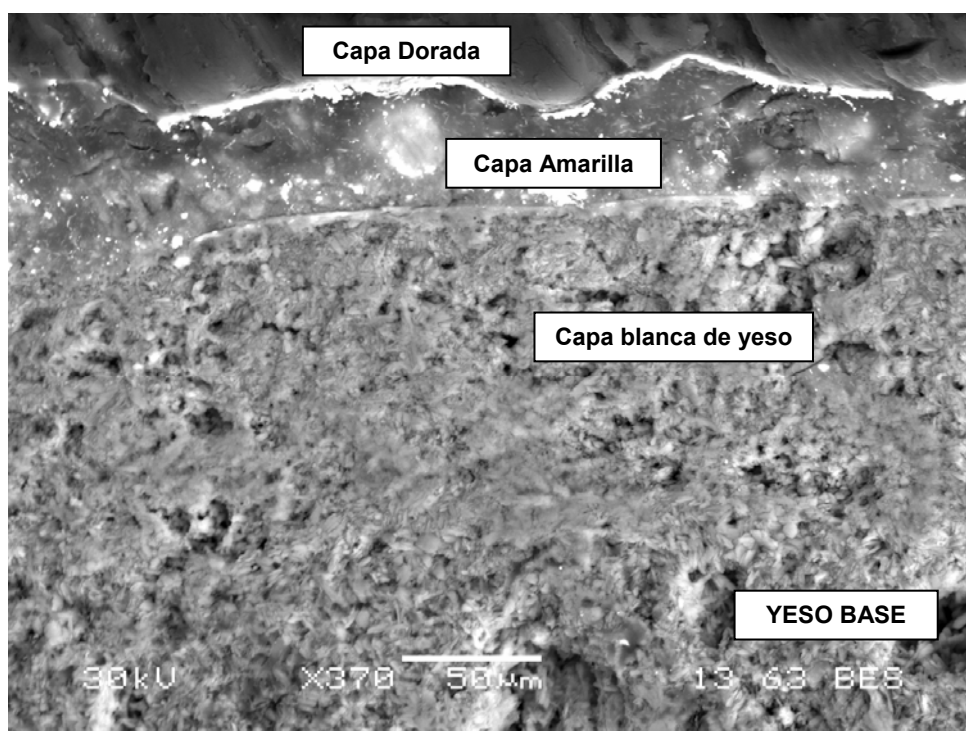


Figura 98. Imagen SEM de las distintas capas de YSE

Los resultados obtenidos por microfluorescencia de Rayos X de las muestras de capas correspondientes a YCA e YSE sirven para confirmar la presencia de los elementos detectados por SEM y DRX

YCA. Cenador de la Alcoba (Fachada Suroeste) (Fig. 99).

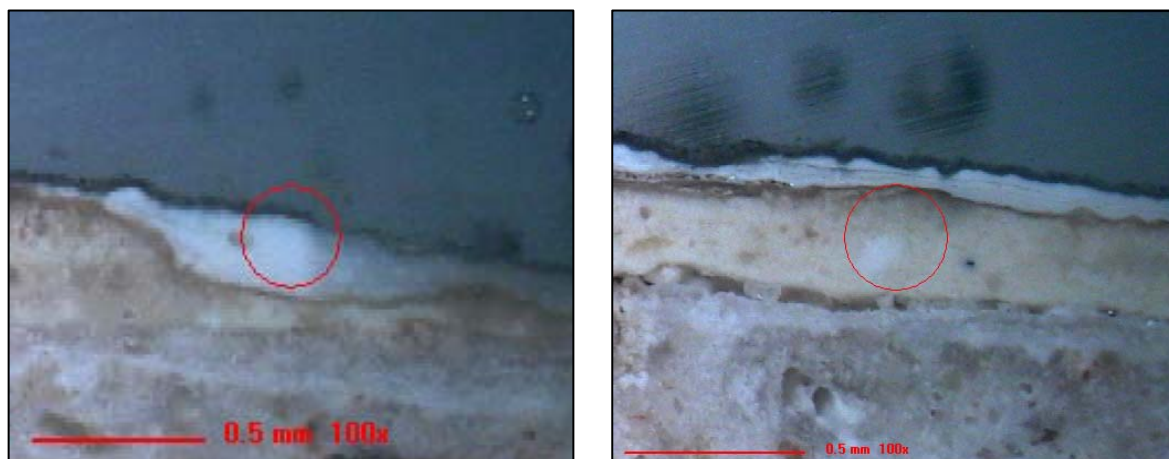
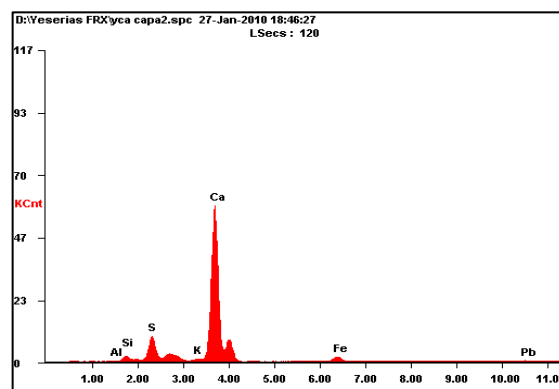
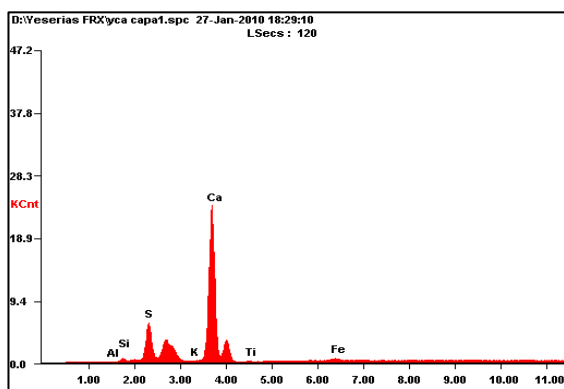


Figura 99. Imagen de YCA tomada por el equipo de microfluorescencia

Óxidos	Yeso Puro	Calcita Pura	YCA (Capas externas)	YCA (Capa intermedia)
SO ₃	46,50	-	20,74	13,99
CaO	32,57	56,03	72,33	72,48
SiO ₂	-	-	5,21	8,48
K ₂ O	-	-	0,31	1,29
Fe ₂ O ₃	-	-	0,66	1,30
SrO	-	-	0,15	0,15
Al ₂ O ₃	-	-	0,41	2,01
2H ₂ O	20,93	-	-	-
CO ₂	-	43,97	-	-

Se manifiesta en esta muestra la presencia de azufre y calcio como mayoritarios en todas las capas, así como el silicio como impureza, por lo que podría corresponder perfectamente con el yeso y la calcita obtenido por DRX para el azufre y el calcio detectado en el espectro. Igualmente el silicio puede tener su origen en el cuarzo, revelado en su análisis mineralógico.



YSE. Salón de Embajadores. Capa exterior roja e interior azul del arco de acceso a la Sala del techo de Felipe II así como Capa intermedia entre colores (Figuras 100 y 101).

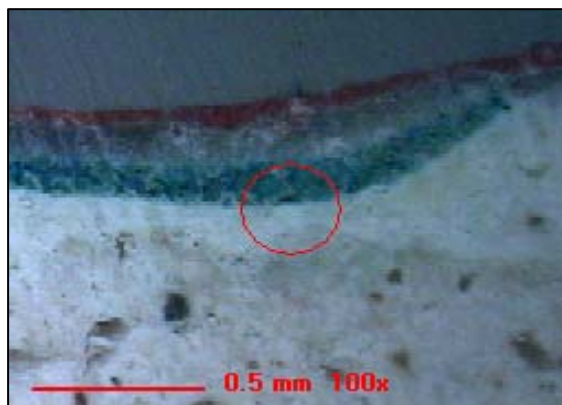
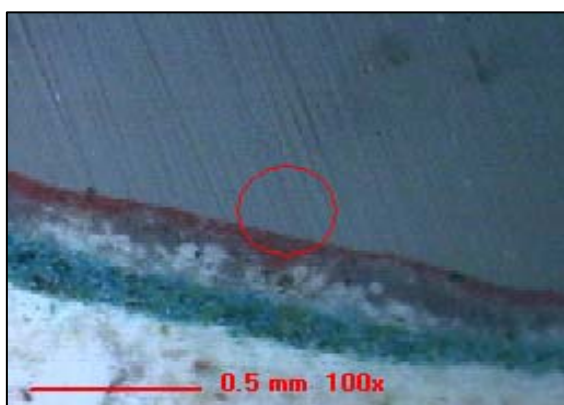
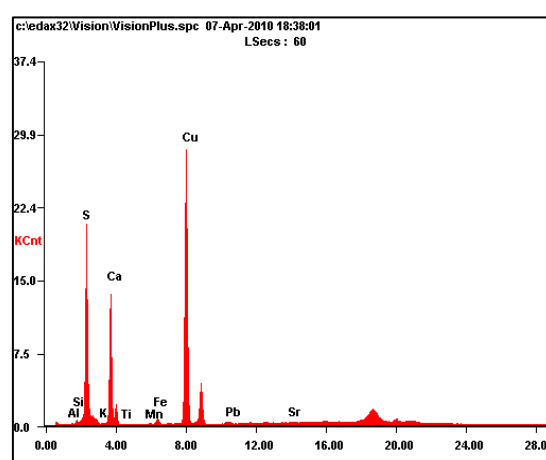
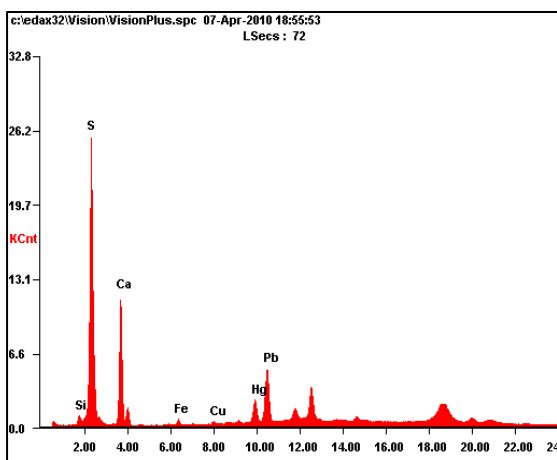


Figura 100. Imagen de YSE tomada por el equipo de microfluorescencia



Oxidos	Yeso Puro	Caliza Pura	YSE (Capa roja)	YSE (Capa azul)
SO ₃	46,50	-	54,39	50,65
CaO	32,57	56,03	26,09	26,23
SiO ₂	-	-	4,67	4,26
K ₂ O	-	-	-	0,56
Fe ₂ O ₃	-	-	0,48	0,49
CuO	-	-	1,23	13,16
HgO ₂	-	-	6,22	-
PbO ₂	-	-	4,92	0,22
2H ₂ O	20,93	-	-	-
CO ₂	-	43,97	-	-

El espectro correspondiente a la capa roja presenta una base de plomo y mercurio mayoritaria, mientras que la azul tiene una mayoría de cobre. Azufre y calcio están presentes en ambas capas.

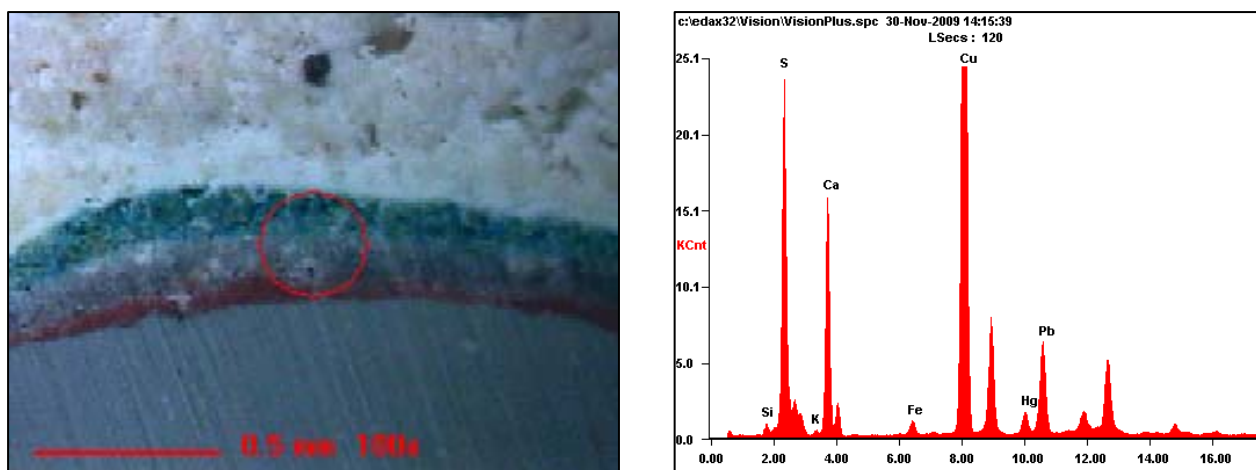


Figura 101

Oxidos	Yeso Puro	Caliza Pura	YSE (Capa intermedia)
SO ₃	46,50	-	40,31
CaO	32,57	56,03	22,46
SiO ₂	-	-	3,62
K ₂ O	-	-	0,52
Fe ₂ O ₃	-	-	0,41
CuO	-	-	20,49
HgO ₂	-	-	2,36
PbO ₂	-	-	9,83
2H ₂ O	20,93	-	-
CO ₂	-	43,97	-

Esta yesería presenta también una capa intermedia de enjalbegado de yeso entre los colores rojo y azul, con contaminación de cobre, plomo y mercurio (debido a las capas de pintura que la delimitan). También podría consistir en la aplicación de un blanco de plomo

sobre la pintura existente (azul), como preparación para posteriormente aplicarse la capa roja actual.

Microfluorescencia de los restos dorados (Fig. 102)

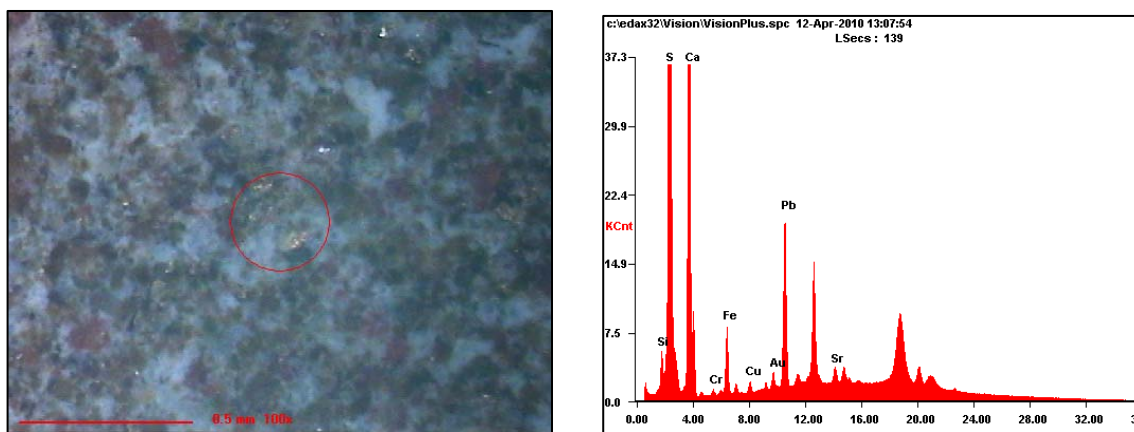
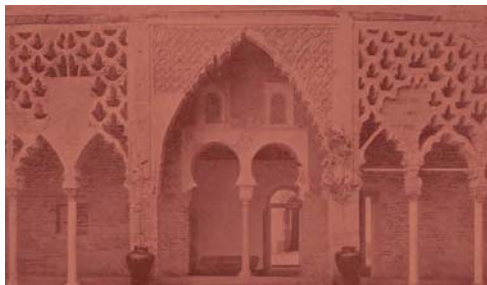


Figura 102

Elementos	Contenido en % en YSE-Dorado
SO ₃	55.81
CaO	29.89
SiO ₂	6.37
Fe ₂ O ₃	1.22
Au ₂ O ₃	0.50
PbO ₂	5.69

Se confirma una pequeña presencia de oro, así como una mayor de plomo, lo que podría confirmar la utilización de albayalde que, junto con el yeso, podrían constituir la preparación del dorado.



3.6.- Conclusiones parciales de caracterización

3.6.- CONCLUSIONES PARCIALES DE CARACTERIZACIÓN

- Desde el punto de vista de la composición química, las yeserías estudiadas se pueden agrupar con respecto a su contenido en SO_3 , en tres clases: Alta, media y baja pureza.

Contenido de SO_3	Alta Pureza > 45%	Media Pureza 45%-40%%	Baja Pureza < 40%
Muestras	YPD, YPS	YSC, YPL, YSJ, YSJ2, YPS2, YPY2, YCA YCR, YCP, YPM, YSE, YSR	YPY, YPS3, YSA, YSF, YDR

- La proporción de residuos insolubles en las muestras permite establecer tres grupos diferenciados de yeserías:

Muestra	YPY	YPL	YPS3	YDR	YCA	YPY2	YSE	YSF	YSJ	YPM2	YSC
% Impureza	27,31	18,93	17,29	9,35	8,27	8,19	7,91	7,62	7,03	6,38	5,88
	> 10%			5-10%							

YPM2	YPS	YPS2	YSJ2	YCP	YSA	YSR	YCR	YPM	YPD
4,28	3,80	3,73	3,72	3,48	3,39	3,33	3,10	2,78	2,18
	<5%								

Yeserías con un contenido inferior a un 5%, en las que se podría suponer en principio, que corresponden con aquellas realizaciones más modernas de renovación o restauración por lo que no es de extrañar una técnica de elaboración más depurada o una elección del material más selectiva. Aunque la pureza y el esmero empleado en la realización del yeso del patio Doncellas (YPD), lo dota de unas cualidades que la hacen pertenecer a este grupo, a pesar de haberse ejecutado dos siglos antes.

Un segundo grupo lo componen aquellas con contenidos de impurezas situadas entre un 5 y un 10%, de las que no nos constan obras de restauración de sus yeserías, salvo las realizadas en el Patio del Yeso por el arquitecto R. Manzano (YPY2) entre 1969-1971.

El último grupo, formado por YPY, YPL e YPS3, con porcentajes bastante superiores al 10%, puede ser indicativo de una selección de las materias primas y/o elaboración de las pastas más artesanal y peor cuidada que las anteriores, lo que nos acercaría a la originalidad y antigüedad de las mismas.

- Con respecto a la composición mineralógica en masa, todas las yeserías están compuestas mayoritariamente por sulfato de calcio dihidrato. En doce de las veintiuna muestras se han detectado trazas del mineral anhidrita CaSO_4 , que pueden ser indicativas de una sobrecocción parcial a temperaturas superiores a 360°C de la piedra de yeso. También se ha identificado el mineral de cuarzo en todas las yeserías, salvo en YPD, YPS e YPS2, pudiendo ser su origen una impureza del aljez o un árido incorporado a la pasta, siendo más probable el primero aunque sin descartar una adición intencionada en YPY.

Otras fases reconocidas a nivel de trazas han sido el aragonito CaCO_3 , detectado en todas las muestras como impureza asociada a la piedra de yeso. La calcita CaCO_3 hallada en todos los tipos salvo en YSE e YPY2, y la dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, encontrada en la mayoría de muestras, salvo en YPS e YSE, proceden ambas de la piedra de yeso. Las proporciones de los tres minerales son inferiores al 5%, lo que unido a la cuantificación del contenido de carbonatos y la técnica de mapping mediante SEM para el carbono, pone de manifiesto tanto por su bajo contenido como por la tipología de dispersión de las partículas carbonatadas en la matriz de yeso, que la calcita identificada en las muestras YPY e YPM2 corresponde a impurezas que tienen su origen en el aljez, por lo que no proceden de la adición intencionada de cal a la pasta de yeso.

- Las yeserías de cronología almohade (s. XII-XIII, presentan gran analogía en su composición, aunque la muestra YPY destaca por un mayor contenido en impurezas.

Las yeserías de cronología mudéjar YPD e SCY3 (s. XVI) son igualmente análogas en su composición.

Las yeserías YSJ e YSJ2 (s. XIV), YCR (s. XIV), YCA (s. XIV-XVI), YCP (s. XIV-XVI), YPM (s. XIV-XIX) e YSE (XIV), se acercan más a las características de los tipos almohades mientras que, la YPS (s. XX), YPY2 (s. XX) e YPS2 (que en principio podría ser considerada como del s. XIII, aunque se ha comprobado que se trata de una restauración del s. XX) lo hacen más a las mudéjares.

Así pues, la composición química y mineralógica de las yeserías las hace distinguibles, a la vez que refuerza la cronología de las mismas en la mayoría de los casos. También se puede afirmar, en función de los contenidos de impurezas, que el proceso de elaboración de los yesos almohades debía ser menos cuidado que el practicado por los mudéjares, a pesar de usar ambas técnicas y procedimientos artesanales.

- La mayoría de los compuestos orgánicos detectados, aunque con presencia muy residual, son muy probablemente de origen natural. El uso principal de estos compuestos, es el de actuar como retardador de fraguado del yeso, al ser nada o muy poco hidrosolubles.
- El valor de la porosidad abierta de las yeserías ha oscilado entre 41,9% y 59%, resultados que pueden considerarse normales para las pastas de yeso, salvo para las muestras YSA, YSJ e YPM, cuyas porosidades han sido del 58,1%, 58,5% y 59%, dato que indica que se empleó en ellas una mayor relación agua/yeso que en las demás, probablemente para conseguir una pasta con más tiempo de trabajabilidad debido a la dificultad de conformación de su decoración, aplicándose el mismo argumento a la muestra YSE con un 55,7% de porosidad.

La muestra YCA posee un 56% de porosidad, lo que puede ser atribuible a su presencia exterior, lo que la hace más vulnerable a las humedades y disoluciones parciales, a pesar de su protección con varias capas de enjalbegado de cal. YPS2 con un 55,5% de porosidad y colocación exterior, ha sufrido humedad por filtración, procedente de algún núcleo húmedo situado en el piso superior, lo que ha provocado un lavado y disolución parcial del yeso. Las yeserías YPD e YPY han presentado los valores de porosidad más bajos, aunque probablemente por distintos motivos. YPD es una yesería con más de 4 cm de espesor, por lo que para evitar el descuelgue de la misma durante su ejecución, es posible que se aplicara en varias capas compactadas y que la pasta utilizada se amasara con una baja agua/yeso para obtener una consistencia seca. En YPY debido a su textura gruesa con granos de cuarzo, debieron emplearse bajas relaciones agua/yeso que conducen a un yeso de fraguado rápido y baja porosidad.

Por tanto, para trabajos de tallado o labrado en seco se puede preparar un yeso de fraguado más rápido y para trabajos de modelado es preciso que fuera más lento. Para labores de moldeado, se pueden emplear moldes con una gran riqueza de formas y detalles que precisen de una dosificación más líquida de la pasta que rellene bien todos los espacios del molde, o bien se puede tratar de moldes más sencillos en sus formas que permitan el empleo de una pasta más plástica.

- Las durezas superficiales obtenidas para las yeserías se han situado dentro del intervalo de 67 a 81 unidades en la escala Shore C. Teniendo en cuenta la dureza que tienen los diversos tipos de guarnecidos de yeso aplicados en la actualidad, que oscilan entre 40 y 80 unidades, se puede considerar que todas las yeserías a

excepción de YSJ, YPM e YCA, están más cercanas al extremo superior o de más alta dureza.

- El estudio de la sección de las yeserías mediante microscopía óptica, ha permitido junto al análisis mineralógico y microfluorescencia, conocer la estructura y composición de las capas externas existentes en las yeserías, resultados que se muestran en la tabla 33:

Existen yeserías que poseen una sola capa de recubrimiento exterior con espesores variables (YPY, YPD, YPS, YDR, YSF e YSA); otras tres con varias capas (YSE, YSR e YCA) y un grupo de ellas sin recubrimiento exterior alguno (YSJ, YCR, YCP, YPM, YPS2, YPY2, YPS3, YSC e YSJ2).

Tablas 33. Composición de las capas de las yeserías

Muestra	Número de capas y material aplicado	Espesor/es de las capas en micras
YPY	1 capa (yeso y anhidrita)	400-600
YPD	1 capa (cal y yeso)	100-200
YPS	1 capa (yeso y anhidrita)	150-200
YDR	1 capa (yeso y cal)	600-700
YSA	1 capa (cal)	1200-1700
YSF	1 capa (cal)	500-800
YSE _R	1 capa de pintura de color rojo	50-100
	1 capa intermedia transparente	150-300
	1 capa de pintura de color azul	100-200
YSE _A	1 capa de pintura de color azul	200-400
SE _D	1 capa de pintura color dorado	10
	1 capa de pintura color amarillo	50-100
	1 capa de pintura color blanco	200-250
YCA	1 capa (yeso y cal)	30
	3 capas (cal y yeso)	50-80 cada una
	1 capa (cal y yeso)	500
YSR	1 capa (yeso)	100-150
	1 capa (yeso)	750-1000

YPY posee una capa de yeso y anhidrita de bastante espesor que puede ser indicativo de su aplicación con poca proporción de agua, por lo que más que una aguada podría ser una pasta bastante seca.

YPS presenta una capa de yeso y anhidrita con presencia de calcita e impurezas, lo que podría indicar una aplicación de enjalbegado de yeso.

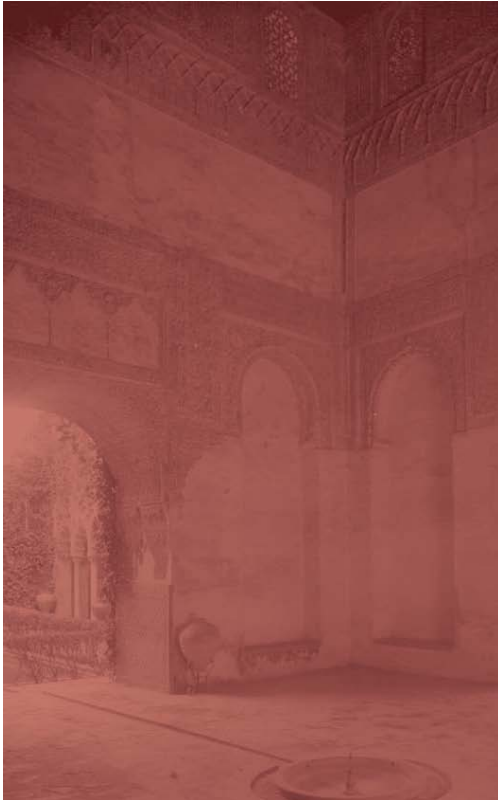
YDR posee una gruesa capa de yeso, posiblemente aplicada en una época posterior a la realización de la yesería original, al igual que YSR que tiene dos, una más gruesa interior y otra exterior de menor espesor.

YPD tiene una capa exterior de enjalbegado de cal y yeso, con presencia de siderita (FeCO_3) y gehlenita, lo que puede ser indicativo del característico color ocre observado en la superficie ya que este mineral puede ser utilizado como pigmento.

En YCA se detectan 4 capas de jalbega de cal y yeso, así como una intermedia de mayor antigüedad, de unas 500 micras de espesor, con un mayor contenido de sílice e impurezas que las exteriores, como primera capa de protección de la yesería.

El microscopio óptico, junto al análisis mineralógico y microfluorescencia revela en la yesería YSE, la presencia de capas exteriores cuya composición se expresa en la tabla 24.

Las capas de pintura determinadas en YSE, hacen suponer la existencia de policromías distintas a las actuales, al menos en cuanto a la combinación de los tres colores (azul, rojo y dorado) observada en los angrelados del arco de acceso a la Sala del techo de Felipe II. Igualmente, el oro revelado por microfluorescencia, puede provenir de la utilización de pan de oro para la decoración de los paramentos. La aplicación de este pan de oro se solía realizar sobre una base de yeso, lo que explica la presencia de azufre y calcio en la muestra



4.- PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE LA DURABILIDAD

- 4.1.- Definición del problema científico
- 4.2.- Objetivos y actuaciones
- 4.3.- Selección previa de materiales
- 4.4.- Estudio de Durabilidad
 - 4.4.1.- Preparación de las probetas a ensayar
 - 4.4.2.- Propiedades de las probetas
- 4.5.- Ensayos de alteración acelerada
 - 4.5.1.- Absorción de agua por capilaridad
 - 4.5.2.- Absorción de agua por inmersión

4.- PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE LA DURABILIDAD

4.1.- Definición del problema científico

A pesar de las muchas buenas cualidades que posee el yeso, como la plasticidad, sus propiedades tecnológicas o su elasticidad, presenta el defecto, de su ligera solubilidad (según fases) en contacto con el agua, además de su pérdida de resistencia cuando aumenta el contenido de humedad en su red capilar. Este problema de la disolución ha sido tratado por diversos investigadores, sin llegar a ofrecer claras y relevantes soluciones (Rubio, 2010). El conocimiento de su comportamiento en distintas condiciones es importante para comprender muchas de las alteraciones que pueden presentar las yeserías.

La extensa utilización del yeso en la construcción en distintas épocas históricas, ha tenido por este motivo, las limitaciones de su empleo en exteriores para las regiones áridas y para el interior de edificios en zonas húmedas.

Este problema de la solubilidad y pérdida de resistencia se ha tratado de solucionar desde la antigüedad, mediante la adición de ciertos productos durante la elaboración de los yesos, bien antes o después del fraguado y endurecimiento. Así, la impermeabilización del yeso se consigue en parte, mediante la aplicación de productos de diversos tipos.

- Durante su hidratación añadiendo a la mezcla silicatos, carbonatos, gelatina, caseína, albúmina, metilcelulosa, carboximetilcelulosa, alginatos de sodio, emulsiones y disoluciones de cera , estearato de aluminio, ceras, disoluciones jabonosas, etc.
- Tras el endurecimiento y secado, se ha tratado el yeso mediante la impregnación de impermeabilizantes como la cera de abejas, aceites, barnices, resinas sintéticas, acetona, goma arábiga, albúmina, disoluciones de gelatina, etc.

Al mismo tiempo, algunos de estos productos, suelen proporcionar al yeso mayor grado de dureza.

Cualquier material que se introduzca en la obra o cualquier actuación que se realice sobre ella en una intervención de restauración, va a modificar su relación con el ambiente, de forma que su comportamiento futuro puede verse alterado. Cuando se

interviene sobre un elemento, el objetivo es lograr que su comportamiento mejore, es decir, que su alterabilidad disminuya, pero puede darse el caso de que se consiga el efecto contrario.

Al aplicar tratamientos conocidos a materiales cuya respuesta ante los factores extrínsecos también se conocen, se puede garantizar que el objetivo antes mencionado se puede conseguir. En los casos en que se van a utilizar técnicas o productos nuevos para materiales de los que no se poseen datos, es conveniente llevar a cabo una investigación previa para poder determinar, al menos de forma cualitativa, cuál será su evolución en el futuro y con mayor motivo debe realizarse este tipo de estudios cuando, durante la intervención, se aplican diferentes tratamientos que inciden sobre la misma obra.

En el caso de los bienes inmuebles, pueden aparecer diversas circunstancias que hagan necesario el estudio previo de los tratamientos. En primer lugar, las condiciones externas que afectan a cada obra son muy diferentes, tanto climáticas, como de uso, o de contaminación atmosférica, etc., por lo que los factores de alteración presentes van a ser muy diferentes en cada caso. En segundo lugar, los materiales empleados, pueden variar de un edificio a otro, de forma que su estado de conservación va a ser totalmente distinto. Un tercer problema es el gran número de productos de tratamiento que se fabrican y comercializan y sobre muchos de los cuales hay muy poca experiencia en cuanto a los resultados que proporcionan a medio plazo (Villegas, 2003).

Es decir, coinciden dos hechos, el entorno y el material, que varían por completo de un caso a otro. Esto hace que un tratamiento pueda comportarse de distinta forma cuando se utilice en obras diferentes tanto por el sustrato al que se aplica, como por los agentes de alteración que actúan. Ello pone de manifiesto la necesidad de recurrir a la evaluación previa de estos tratamientos.

La metodología general a aplicar para determinar la idoneidad de cualquier tipo de técnica y producto de tratamiento es independiente del tipo de obra que se esté estudiando y debe centrarse en evaluar los siguientes aspectos:

- Compatibilidad de los productos y técnicas empleados con los materiales originales de la obra o con otros productos o técnicas de tratamiento que se vayan a utilizar.
- Eficacia del tratamiento, es decir, que con él se consiga el fin que se persigue.

- Resistencia a los agentes de alteración que actuarán sobre la obra una vez restaurada.

En general, los métodos y técnicas de análisis y ensayo que podrían utilizarse para determinar estos tres puntos son los mismos que sirven para medir las diferentes características del material, si bien enfocados desde otro punto de vista. Tan sólo hay un grupo de técnicas cuya finalidad principal es determinar la alterabilidad de las muestras, y estos son los ensayos de alteración acelerada.

El estudio de estos tres aspectos se lleva a la práctica de la siguiente forma:

- 1.- Aplicación del tratamiento a probetas adecuadamente preparadas, de características semejantes a las de la obra a tratar (materiales, uniones, estado de conservación, etc.).
- 2.- Estudio de la compatibilidad con los materiales originales: determinándose una serie de propiedades del material que pueden verse modificadas con la aplicación del tratamiento (propiedades físicas, mecánicas, textura, color, etc.) y se decide si esas modificaciones son aceptables o no.
- 3.- Determinación de la resistencia a los agentes de alteración: sometiendo las probetas ya tratadas a ensayos que reproduzcan el efecto de los agentes y mecanismos de alteración que actúen sobre la obra. Normalmente se efectúan ensayos de alteración acelerada, para obtener resultados en plazos cortos.

La realización de ensayos de alteración acelerada de materiales de yeso puede tener uno de estos tres objetivos (Villegas, 2000):

1. Estudiar la resistencia del material a los agentes de alteración.
2. Investigar los mecanismos de alteración.
3. Evaluar la eficacia de un determinado tratamiento

Es por ello que siempre debe realizarse el (los) ensayo(s) que mejor reproduzcan las condiciones reales de exposición y los mecanismos de alteración que tengan lugar en el caso que se estudie.

Los ensayos acelerados se basan en una acción violenta y concentrada en el tiempo de los principales factores de alteración (Skoulikidis, 1995), aunque tienen los inconvenientes de que no suele ser fácil comparar sus resultados con los obtenidos en tiempo real y, además, no existe seguridad de que actúen los mismos mecanismos de alteración. Esto se ha explicado considerando que generalmente se recurre a experiencias demasiado simplificadas, sin tener en cuenta la existencia de efectos concomitantes entre las diversas variables. Por esto se recomienda con frecuencia llevar a cabo combinaciones de ensayos.

4.2.- Objetivos y actuaciones

En el apartado 1.2 de esta investigación uno de los objetivos expuestos es, la realización de un estudio de la durabilidad de las yeserías, mediante la preparación de muestras representativas lo más parecidas posible a las yeserías originales, a partir de materiales comerciales, caracterizándolas, para posteriormente realizar un estudio de su comportamiento, tras someterlos a ensayos de alteración, teniendo en cuenta la existencia o no de protecciones o acabados aplicados en las mismas.

En nuestro caso, aunque el estado general de las yeserías estudiadas es bastante bueno, salvo algunas excepciones comentadas en el Anexo 2 de esta tesis, el objetivo es el indicado también en el apartado 3.1, pero ampliado, es decir:

- a) La preparación de probetas o muestras de estudio lo más parecidas posible a las del Alcázar, a partir de materiales comerciales existentes, así como la caracterización de las mismas.
- b) Realización de un estudio del comportamiento físico y mecánico a diferentes tiempos de envejecimiento y con distintas condiciones ambientales, en función de las protecciones o acabados aplicados, si los hubiere.

4.3.- Selección previa de materiales

Antes de proceder a los tratamientos y a su evaluación estrictamente hablando, una etapa muy importante es la decisión sobre las dosificaciones de las muestras a preparar.

Dado que el yeso es un material relativamente heterogéneo, si se quieren obtener resultados significativos es necesario utilizar un número relativamente alto de probetas, de distintas formas y dimensiones, que normalmente es difícil obtener del edificio, especialmente en el caso de edificios patrimoniales. En ocasiones es posible encontrar restos de intervenciones anteriores en las que se haya sustituido o reparado paños de yesería, pero casi siempre deberá recurrirse a material preparado a partir de productos comercializados actuales.

Con objeto de obtener probetas con características físicas y composicionales semejantes a las de las yeserías estudiadas, se ha partido de dos materiales de yeso distintos y se han preparado tres dosificaciones agua/yeso, con lo cual se han obtenido 6 combinaciones diferentes. Posteriormente se han determinado sus propiedades y se han seleccionado las que más parecidas a las yeserías históricas.

Los yesos utilizados son:

- Un B1 o yeso de construcción, cuya denominación viene dada por la Norma UNE EN 13279-1:2006, donde se especifica que su contenido en conglomerante de yeso, con el sulfato de calcio como componente activo principal, ha de ser como mínimo del 50%, con un contenido en cal inferior al 5%, donde el fabricante puede añadir aditivos y agregados, y con menos de un 1% en peso o en volumen de materia orgánica.

Las especificaciones para este yeso de construcción se recogen en la siguiente tabla (Tabla 33):

Tabla 33. Especificaciones del yeso B1 según UNE-EN 13279-1:2006

Yeso para la construcción	Contenido en conglomerante de yeso	Tiempo de principio de fraguado min.		Resistencia a flexión Nw/mm ² .	Resistencia a compresión Nw/mm ² .	Dureza superficial
		Yeso de aplicación manual	Yeso de aplicación mecánica			
B1	≥ 50%	> 20	> 50	≥ 1,0	≥ 2,0	-

- Un E35, equivalente a un A2 o conglomerante a base de yeso, cuya denominación viene dada por la Norma UNE EN 13279-1:2006, donde se especifica simplemente, que su contenido es sulfato de calcio en sus distintas fases de hidratación, por ejemplo semihidrato (SO₄Ca . 0,5 H₂O) y anhidrita (SO₄Ca).

Según la Norma UNE 102011: 1986 (E35), se trataría de una escayola que se utiliza en la ejecución de elementos prefabricados para techos y tabiques, donde su pureza ha de ser como mínimo de un 92%, con un contenido mínimo en sulfato de calcio hemihidrato de un 87%, con un residuo máximo retenido en el tamiz de 200 μm de un 1%, un tiempo de trabajabilidad de 30 minutos, una resistencia mecánica a flexotracción de 3,5 Nw/mm^2 y un pH no inferior a 6.

Para las condiciones de ensayo y toma de muestras de estos productos, se ha procedido según la Norma UNE EN 13279-2:2006 (Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo) y las Normas Europeas EN 196-7 (Métodos de ensayo de cementos. Parte 7. Métodos de toma de muestras y preparación de muestras) y EN 932-1 (Ensayos para determinar las propiedades generales de los áridos. Parte1. Métodos de muestreo).

Según las indicaciones seguidas en las Normas indicadas, se han fabricado y curado 3 probetas de 4 x 4 x 16 cm de cada tipo de yeso, para relaciones agua/yeso de 0,6, 0,7 y 0,8, empleando las siguientes herramientas y equipos:

- Balanza electrónica (Fig. 103 a).
- Mezcladora amasadora. Dispositivo eléctrico encargado de conseguir una mezcla idónea a la pasta de yeso mediante movimientos en rotación y planetario.
- Moldes de acero (Fig. 103 c). Con el fin de construir las probetas de yeso requeridas se emplean moldes de acero, material exento de poros, estanco al agua y no reactivo con el sulfato de calcio.
- Regla enrasadora de acero inoxidable y espátulas (Fig. 103 b).



Figura 103

Con cada molde obtenemos un total de tres probetas de tamaño normalizado de 4x4x16cm, arrojando un total de 18 probetas (Fig. 104).



Figura 104

Las probetas deben caracterizarse, para comprobar el/los tipos que más se asemejan a las yeserías estudiadas. Para ello se han sometido 6 de las muestras, una por cada dosificación, a los siguientes ensayos:

- Análisis mineralógico de sus masas
- Cálculo del residuo insoluble en agua
- Determinación de sus propiedades físicas
- Determinación de la dureza superficial Shore C
- Resistencia a flexión y compresión.

Los resultados obtenidos de los análisis han sido los siguientes:

- Análisis químico de las masas

La composición química de las dos muestras de yeso, se recoge en las tablas 34 y 35.

Tabla 34. Composición química (%) de las muestras (componentes mayoritarios y minoritarios)

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	SrO	P ₂ O ₅	SO ₃	PC	TOTAL
B1	2,63	0,79	0,24	0,01	1,09	33,26	0,08	0,19	0,08	0,16	38,61	21,92	99,06
E35	1,42	0,38	0,16	0,01	0,98	32,51	0,08	0,14	0,13	0,02	42,88	20,41	99,12

Tabla 35. Composición química de las yeserías (trazas). Proporción (ppm)

Muestra	Cl	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Ti	Y	Zr	Nb	Mo	As	Ba	Pb
B1	31	8,7	ND	6,8	1,8	ND	57	9,2	ND	12,7	30,2	ND	2,4	ND	6,7	ND
E35	46	10,8	ND	4,1	0,8	ND	56	9,4	0,3	12,2	18,2	ND	2,4	9,4	16	1,1

Con respecto a la composición química de las dos muestras (tabla 34), se observa una composición típica de los yesos con una elevada riqueza en SO_3 , atribuible al contenido en $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, y con una pérdida por calcinación próxima al 21%, que es la que correspondería a un yeso puro de referencia.

El grado de pureza del B1 es de un 38,61% por lo que se considera de baja pureza (<40%) y el del E35 es de 42,88 % considerándose de mediana pureza (40-45%).

- **Análisis mineralógico de las masas**

Los minerales identificados se muestran en la siguiente tabla (Tabla 36):

Tabla 36. Composición mineralógica de las muestras (masas)

Mineral	Yeso (Sulfato de calcio dihidrato) $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Anhidrita CaSO_4	Aragonito CaCO_3	Calcita CaCO_3	Dolomita CaMg $(\text{CO}_3)_2$	Cuarzo SiO_2	Magnesita
B1	++++	++	+	+	+	+	--
E35	++++	++	+	+	+	+	+

Se puede observar como estas muestras están compuestas mayoritariamente por yeso (sulfato de calcio dihidrato). La Dolomita y la calcita son minerales presentes también en todas las muestras del Alcázar, mientras que el aragonito lo está en la mitad de ellas. El cuarzo se halla en todas las muestras estudiadas, salvo en la correspondiente al patio de las Doncellas. Por último la anhidrita, está presente en ocho de las veinte yeserías analizadas.

Por todo ello se podría afirmar que los compuestos mayoritarios presentes en los yesos considerados para preparar las probetas, coinciden básicamente en su composición con los yesos estudiados en el Alcázar, diferenciándose tan solo estos últimos, por la presencia de otros minerales como impurezas en muy pequeñas proporciones.

- **Cálculo del residuo insoluble en agua**

Se ha determinado también el porcentaje de impurezas insolubles presentes en las muestras B1 y E35, en su mayor parte procedentes de las materias primas, permitiéndonos dar una idea de su preparación y compararlas con las de tipo artesanal determinadas anteriormente para el conjunto palacial.

A continuación se muestra en la tabla 37, la relación de las impurezas insolubles en agua obtenidas:

Tabla 37. Relación de impurezas insolubles en agua de las muestras B1 y E35

Muestra	Peso Muestra	Peso Impurezas	Porcentaje s/muestra	
B1	11,50	1,99	17,30	>10%
E35	5,15	0,46	8,93	5-10%

De estos resultados se puede deducir que el yeso B1 fabricado en la actualidad, se asemeja más en este aspecto a los más antiguos en cronología de los analizados o almohades, lo que no sería de extrañar dada la forma actual de extracción mecánica de la materia prima y el nivel de exigencia de la calidad actual del producto. El E35 en cambio se acerca más a los mudéjares, más modernos en el tiempo que los almohades y con una elaboración de la pasta más cuidada, aunque se puede observar que algunos de los analizados para este período son de mayor pureza aún que los utilizados actualmente.

- **Determinación de la porosidad**

Se ha determinado la Porosidad abierta o accesible y la densidad aparente de los yesos de las probetas, utilizando el método de saturación de agua a vacío (ver Fig. 72), de acuerdo con las especificaciones de la norma UNE-EN 1936:2007 (Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la densidad real y aparente y de la porosidad abierta y total).

Los resultados obtenidos para las probetas preparadas se muestran en la Tabla 38.

Tabla 38. Densidad y Porosidad accesible de las probetas preparadas

Muestra y relación agua/yeso	Densidad Aparente (g/cm ³)	Porosidad Abierta (%)
B1-0,6	1,31	45,47
E35-0,6	1,23	47,79
B1-0,7	1,14	52,92
E35-0,7	1,07	53,99
B1-0,8	1,07	54,87
E35-0,8	0,99	57,93

El valor de la porosidad abierta de las yeserías islámicas oscilaba dentro del intervalo del 41,9% al 59%, tratándose de resultados que se pueden considerar normales para las

pastas de yeso. Si observamos los valores obtenidos para los yesos B1 y E35 (entre el intervalo 45,5 a 57,9), son coincidentes con los valores hallados para las muestras históricas.

- **Determinación de la dureza superficial Shore C**

La dureza superficial está influenciada, como vimos anteriormente, por una gran cantidad de variables como son: la relación agua/yeso, tipo de yeso, espesor de aplicación, tipo de soporte, humedad del yeso, técnica ejecución utilizada, etc., siendo la primera la más determinante, ya que como hemos comentado en el apartado anterior, a mayor relación agua/yeso, mayor porosidad abierta y menor dureza superficial.

Se ha actuado según lo especificado en el apartado 3.4.8. de esta tesis, y para su cálculo se han tomado varios valores sobre las probetas (dos por cara) para luego realizar la media.

Los resultados obtenidos aparecen en la Tabla 39:

Tabla 39. Valores de dureza obtenidos para las probetas

Muestra	%Porosidad	Dureza
B1-0,6	45,47	83
E35-0,6	47,79	88
B1-0,7	52,92	73
E35-0,7	53,99	76
B1-0,8	54,87	62
E35-0,8	57,93	69

Las durezas superficiales obtenidas para las yeserías se han situado dentro del intervalo de 69 a 83, estando las islámicas comprendidas entre las 67 a 84 unidades en la escala Shore C, por lo que también se encuentran entre los valores de las estudiadas. Teniendo en cuenta la dureza que tienen los diversos tipos de guarnecidos de yeso aplicados en la actualidad, que oscilan entre 40 y 80 unidades, se puede considerar que todas las yeserías, tanto islámicas como actuales, están más cercanas al extremo superior o de más alta dureza, entre 70 y 80.

- **Propiedades mecánicas**

Con el avance del fraguado se va formando el entramado cristalino del rehidrato, aumentando la resistencia mecánica, hasta un máximo para probetas situadas en el laboratorio que se suele producir sobre los quince días (Villanueva, 2001). El contenido

de humedad incide decisivamente en la resistencia del yeso, ya que el vapor de agua libre en los poros que deja el entramado cristalino actúa como lubricante entre los cristales posibilitando movimientos relativos ante sollicitaciones exteriores y, en consecuencia disminuyendo su resistencia. Este fenómeno se ha estudiado experimentalmente, concluyéndose que la resistencia baja a la mitad cuando la humedad pasa del 0% al 1% (Villanueva, 2001). Para Wirsching ([1985], 1996), la resistencia del yeso con un contenido de humedad superior al 5% es aproximadamente la mitad de la del yeso en estado seco. Durante el secado, la resistencia del yeso va aumentando hasta el 5% de humedad, haciéndose evidente al 1% y alcanza su valor final cuando se llega al equilibrio con el contenido de humedad. Para el cálculo de las medidas de la resistencia a flexión y a compresión, se ha seguido el procedimiento indicado en la norma UNE-EN 13279-2:2006.

La Resistencia a flexión, consiste en la determinación de la carga necesaria para romper una probeta prismática normalizada de 16 x 4 x 4 cm, apoyada sobre unos rodillos cuyos centros están separados 10 cm. Para ello se coloca la probeta sobre los rodillos del dispositivo de flexión, y mediante otro central se le va aplicando una carga, aumentándola progresivamente hasta su rotura.

La resistencia a flexión P_F viene dada por la fórmula:

$$R_f = \frac{3 F \times L}{2 b \times h^2} \text{ donde } L = 10 \text{ cm; } b = 4 \text{ cm; y } h = 4 \text{ cm}$$

Donde:

P_F es la resistencia a flexión en N/mm^2

P es la carga media de rotura en N de, al menos, tres valores obtenidos;

La Resistencia a compresión, se mide mediante la aplicación de una carga progresiva a los dos trozos de las probetas obtenidas, tras la rotura del ensayo a flexión.

Los trozos de las probetas se colocan por sus caras laterales hacia arriba y hacia abajo, entre los dos platos de acero de la prensa de compresión, de forma que los lados de la probeta que estuvieron en contacto con las caras del molde estén en contacto con los platos de la prensa en una sección de 4 x 4 cm. Se aplica la carga con una velocidad de 10 Kg/s para las probetas de 0,8 y de 20 Kg/s para las de dosificación 0,6.

El cálculo de la resistencia a compresión se obtiene utilizando la siguiente ecuación matemática:

1600 es el área de carga sobre la probeta en mm²;

$$R_c = \frac{F}{b \times h}$$

R_C es la resistencia a compresión en N/mm²

Donde:

F es la máxima carga de la rotura en N

b y h son las dimensiones de las caras de apoyo (40 mm en ambas)

Los valores obtenidos, tal y como se muestran en la tabla siguiente (Tabla 40), cumplen con lo descrito en las Normas UNE EN especificadas anteriormente para estos productos. Para las yeserías no han podido determinarse los valores de estas dos propiedades, por la falta de muestras del tamaño necesario.

En las siguientes imágenes se muestran los ensayos a flexión y compresión realizados según normas (Figuras 105 y 106).

Tabla 40. Valores de resistencia a flexión y compresión

Muestra	R. Flexión (Mpa)	R. Compresión (Mpa)	R. Flexión según Norma (Mpa)	R. Compresión según Norma (Mpa)
B1-0,6	3,75	10,15	≥ 1	≥ 2
E35-0,6	5,13	14,04		
B1-0,7	1,86	5,61		
E35-0,7	3,32	7,96		
B1-0,8	1,50	4,10		
E35-0,8	2,53	6,31		



Figura 105



Figura 106



4.4.- Estudio de Durabilidad

4.4.1. Preparación de las probetas a ensayar

Tras las medidas expuestas en el apartado anterior, se ha decidido realizar los ensayos de alteración a las muestras preparadas con B1 y E35, para las relaciones agua/yeso de 0,6 y 0,8 por ser las más representativas.

Para la fabricación de las probetas de ensayo se ha procedido según las especificaciones de la norma UNE-EN 13279-2:2006, donde se indican los métodos de ensayo para yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso, procediéndose de la siguiente forma:

En primer lugar, se ha pesado en la balanza electrónica una cantidad aproximada de 1K de cada yeso, B1 y E35, pesándose seguidamente la cantidad de agua necesaria para cada una de las relaciones a determinar, añadiendo el yeso al agua y moviendo la mezcla manualmente con la ayuda de una espátula durante un minuto.

La pasta formada se agita en la mezcladora amasadora durante un minuto a baja velocidad, mediante movimientos de rotación y planetario.

A continuación, se ha continuado agitando manualmente durante aproximadamente 10 minutos, para conseguir una pasta más espesa, evitando así que una vez compactada en el molde, ésta se asiente excesivamente y emerja una capa superficial de agua.

Para evitar fugas de pasta a través de las uniones de las diferentes piezas que conforman el molde, se sellaron previamente con yeso grueso (Fig. 107).



Figura 107. Sellado de los moldes con yeso grueso

Posteriormente se procedió al vertido de la pasta en los moldes de acero, para fabricar probetas normalizadas de 4 x 4 x 16 cm, de forma que cada molde quedara totalmente lleno y a nivel, de manera uniforme. Para evitar burbujas de aire internas, se realizó la

compactación de la pasta, golpeando los moldes controladamente contra la mesa a una velocidad constante.

Tras unos minutos, y una vez más consistente la masa, se enrasó con la ayuda de una regleta con el fin de obtener una superficie lisa y con las medidas normalizadas requeridas para los ensayos posteriores.

Este procedimiento se repitió hasta obtener los 4 moldes necesarios para cada dosificación, en total 48 probetas (Fig. 108).



Figura 108. Relleno de los moldes

Transcurridas aproximadamente 24 horas desde el relleno de los moldes, las probetas están en condiciones de ser desmoldadas, tras lo cual han permanecido en ambiente de laboratorio durante 7 días en los que han ido perdiendo la humedad. Las probetas destinadas al proceso de rotura para estudiar su resistencia a flexión y compresión se introdujeron en la estufa a unos 40°C hasta peso constante.

Tras la semana en ambiente de laboratorio, se procedió al corte de las probetas, para ser sometidas a los diferentes tratamientos.

Para cada dosificación se cortaron un total de 9 probetas de las 12 preparadas, obteniéndose 2 fragmentos de 4 x 4 x 1 cm y 2 de 4 x 4 x 7cm, por cada probeta.

Los estudios realizados a las yeserías han permitido determinar que algunas de ellas se encuentran recubiertas por una o varias capas de enjalbegado de cal, de cal y yeso o de yeso solo. Por ello, se ha procedido a la preparación de una pasta de cal añeja tamizada y otra de anhídrita en polvo mezclada con agua, aplicándoselas a las probetas fabricadas. Se ha medido posteriormente el espesor del recubrimiento por cada aplicación de enjalbegado, con el objeto de asemejarse lo máximo posible a los determinados en las yeserías estudiadas. Tras la medición se ha establecido que las aplicaciones debían realizarse como máximo en dos capas.

Para cada dosificación, un primer grupo de probetas se pintó con dos capas de cal, el segundo con dos capas de yeso y un tercer grupo se conservó sin pintar como referencia.

La aplicación de cada recubrimiento se realizó de la siguiente forma en los cuatro trozos preparados con cada probeta: (Fig. 109):

- Un primer trozo de 4 x 4 x 1cm se pintó por la cara superior (tipo A).
- Al segundo trozo de 4 x 4 x 1cm no se le aplicó pintura alguna (tipo B).
- A uno de 4 x 4 x 7cm se le aplicó pintura en todas las caras excepto en una de 4 x 7cm (tipo C).
- Al último de 4 x 4 x 7cm se le aplicó pintura en todas sus caras (tipo D).



Figura 109. Vista de las probetas de dos moldes, cortadas y preparadas con pintura de cal

La pintura de cal, con una composición del 30 % de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y un 70% de H_2O , se aplicó en dos capas separadas entre sí 24 horas aproximadamente, y extendiéndolas en direcciones opuestas.

Es importante esperar el tiempo necesario hasta que las capas de pintura de cal estén completamente carbonatadas, ya que debido al bajo contenido de CO_2 en el aire, la carbonatación es muy lenta. Para acelerarla, se ha optado por mantenerlas en una atmosfera saturada de CO_2 . Para ello se ha preparado un recipiente para alojar las probetas, conectado a una bombona de anhídrido carbónico, procediendo diariamente a saturar de CO_2 la atmósfera de las probetas para acelerar el proceso (Fig. 110).



Figura 110. Recipiente de probetas y botella de CO₂

Mediante el indicador de fenolftaleína se ha ido comprobado la finalización de la carbonatación en las probetas, tras lo cual se ha procedido a la realización de los ensayos.

La pintura de yeso aplicada tiene una composición del 15% anhidrita (SO_4Ca calentado a 550°C de forma que se hidrata muy lentamente), un 15% de hemihidrato (escayola) y un 70 % H_2O .

Se aplican las dos capas de pintura, separadas entre sí 24 horas aproximadamente y ambas en direcciones opuestas, al igual que se actuó con la pintura de cal. El tiempo de secado es de unas 48 horas, tras lo cual se llevan a cabo las medidas y ensayos.

En la tabla 41 se muestra un cuadro resumen de las probetas preparadas y utilizadas para la realización de los ensayos, mostrándose el caso de un B1 con dosificación agua/yeso de 0,6.

Tabla 41. Relación de probetas realizadas para un yeso B1 y relación agua/yeso de 0,6

Moldes de 3 probetas	Probetas de 4x4x 16 cm	Probetas de 4x4x7 cm	Probetas de 4x4x1 cm	Imprimación
Molde 1-B1 _{0,6}	Probeta B1 _{0,6} (1)	B1 _{0,6} Inmersión	B1 _{0,6} Permeab.	Yeso
		B1 _{0,6} Capilaridad		Yeso
	Probeta B1 _{0,6} (2)	B1 _{0,6} Inmersión	B1 _{0,6} Permeab.	Cal
		B1 _{0,6} Capilaridad		Cal
	Probeta B1 _{0,6} (3)	B1 _{0,6} Inmersión	B1 _{0,6} Permeab.	Ninguna
		B1 _{0,6} Capilaridad		Ninguna
Molde 2-B1 _{0,6}	Probeta B1 _{0,6} (1)	B1 _{0,6} Inmersión	B1 _{0,6} Permeab.	Yeso
		B1 _{0,6} Capilaridad		Yeso
	Probeta B1 _{0,6} (2)	B1 _{0,6} Inmersión	B1 _{0,6} Permeab.	Cal
		B1 _{0,6} Capilaridad		Cal
	Probeta B1 _{0,6} (3)	B1 _{0,6} Inmersión	B1 _{0,6} Permeab.	Ninguna
		B1 _{0,6} Capilaridad		Ninguna
Molde 3-B1 _{0,6}	Probeta B1 _{0,6} (1)	B1 _{0,6} Inmersión		Yeso
		B1 _{0,6} Capilaridad		Yeso
	Probeta B1 _{0,6} (2)	B1 _{0,6} Inmersión		Cal
		B1 _{0,6} Capilaridad		Cal
	Probeta B1 _{0,6} (3)	B1 _{0,6} Inmersión		Ninguna
		B1 _{0,6} Capilaridad		Ninguna
Molde 4-B1 _{0,6}	Probeta B1 _{0,6} (1)	Reserva		
	Probeta B1 _{0,6} (2)	Reserva		
	Probeta B1 _{0,6} (3)	Reserva		

Esta misma relación de probetas se extiende a la E35 y a las dosificaciones 0,6 y 0,8, efectuándose un total de 16 moldes, lo que hace un total de 48 probetas

4.4.2. Propiedades de las probetas

Tras la preparación y curado de las nuevas probetas, con sus correspondientes capas de cal o yeso, procediéndose a la medida de la porosidad abierta, la resistencia a flexión y compresión y la dureza superficial Shore C. Se han añadido además la medida de la velocidad de ultrasonido y de la permeabilidad al vapor de agua.

Todas estas propiedades se han determinado antes y tras someter las probetas a los ensayos de alteración acelerada.

Medida de la Velocidad de transmisión de ultrasonidos

Se ha considerado interesante añadir la propiedad de la velocidad de ultrasonido como ensayo no destructivo a las probetas del estudio.

Este ensayo consiste en medir el tiempo de paso de una vibración mecánica a través de cualquier material. La vibración es generada y recibida por medio de un registrador electromecánico. La técnica utilizada mide el intervalo de tiempo que transcurre entre la

introducción de la vibración y su recepción, a partir de ese tiempo y la distancia entre los palpadores se calcula la velocidad de transmisión de la onda.

La velocidad está ligada al modulo elástico, se incrementa con éste (por lo tanto también con la resistencia a la compresión), siendo una de las aplicaciones de esta medida el actuar como indicador del deterioro del yeso, ya que la disminución de la velocidad de transmisión indicará un modulo elástico bajo y por lo tanto un deterioro del yeso tras los ensayos de alteración acelerada.

Estas medidas se han realizado con un equipo Ultrasonic - Tester BP 5, Para la realización de este ensayo, se tomaron usando las probetas de 4 x 4 x 16 cm en posición longitudinal, colocándose los dos palpadores o transductores en cada extremo de la probeta. Se ha usado como acoplante glicerina (Fig. 111).

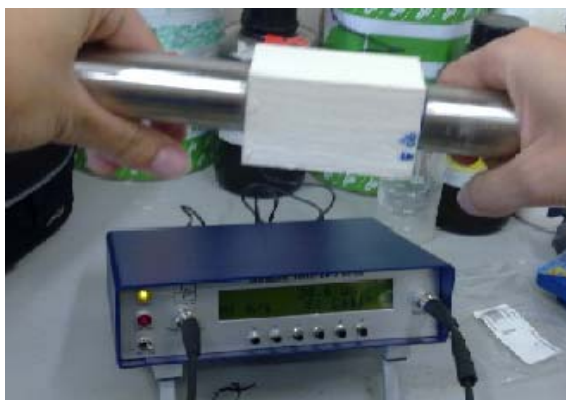


Figura 111. Ensayo de ultrasonido con una probeta con pintura de cal

Medida de la permeabilidad al vapor de agua

El yeso es un material poroso, con capacidad de absorber vapor de agua del aire cuando la humedad relativa es alta, y de devolverlo al ambiente cuando baja el contenido de humedad. Se puede decir por tanto, que el material de yeso transpira y se comporta, dentro de unos ciertos límites, como regulador de humedad.

El ensayo de permeabilidad al vapor es un procedimiento normalizado, por ejemplo en la ASTM E-99 (1990) o en la UNE 53.312 para materiales plásticos y la UNE-EN 1015-19:1999, para morteros de albañilería. Existen diversas variantes en función de que el vapor de agua entre o salga de un recipiente en condiciones higrométricas más secas o más húmedas que el ambiente exterior (Villanueva, 2008).

En nuestro caso, se opta por el método del “vaso húmedo”, que consiste en la utilización de un recipiente (Fig. 112) con agua, tapado con la probeta a ensayar y perfectamente sellado, de tal forma, que el vapor de agua solo pueda salir al exterior a través de las probetas de yeso.

El ensayo se realiza durante el transcurso de una semana, recogiendo los datos de peso de cada uno de los contenedores con una frecuencia aproximada de 24 horas.

Para ello se ensayan las probetas de 4 x 4 x 1cm pintadas por una cara, con cal y yeso, y las de referencia sin pintar, al objeto de conocer los valores de permeabilidad del yeso en cada caso y comprobar el efecto de la aplicación de estas capas de pintura. También se ha medido después de los ensayos de alteración, sobre placas de 4 x 4 x 1 cm cortadas de las probetas una vez sometidas a los mismos.



Figura 112. Contenedores para el Ensayo de permeabilidad

4.5.- Ensayos de alteración acelerada

La necesidad de analizar el comportamiento frente a la humedad de los yesos, viene determinada por el uso que se vaya a dar a los mismos. Algunas formas constructivas no conllevan contacto directo con el agua (revestimiento de paredes interiores), mientras que otras suponen exposiciones permanentes a la humedad ambiental, el agua de lluvia, etc. (patios).

Estas formas de contacto yeso-agua pueden resumirse de la siguiente manera (Vielva y Hernández, 2002):

Humedad ambiental.

Considerando dos casos diferentes:

- La acción directa del vapor de agua atmosférico con penetración por higroscopicidad.
- La condensación del vapor de agua atmosférico en superficie.

El yeso, en determinadas condiciones ambientales, puede presentar una superficie de contacto fría, produciéndose sobre él la condensación del agua atmosférica y penetrando por succión.

Acción directa del agua de lluvia.

Cuando la aplicación del yeso se realiza en exteriores, podemos estudiar dos casos diferentes:

- Si no actúa el viento, se produce un contacto simple con el agua, penetrando por succión.
- Si sopla el viento, presionando al agua contra la pared, actuando los mecanismos de succión y penetración del agua bajo presión.

Humedad contenida en el terreno.

En los zócalos de este material puede encontrarse en contacto directo con terrenos húmedos por la presencia próxima del nivel freático, por lo que el yeso en este caso, absorberá el agua por capilaridad ascendente, es decir, por succión. Este hecho no se da en ninguna de las muestras estudiadas en el Alcázar.

4.5.1.- Absorción de agua por capilaridad

No existe ningún ensayo normalizado que permita simular la alteración que se produciría por el movimiento del agua, absorbida por capilaridad en una zona de la probeta y evaporándose en el extremo opuesto. Por ello se ha propuesto un ensayo que se basa en el que se usa para medir la absorción capilar en materiales porosos (norma UNE-EN 1925:1999, Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad).

Las probetas de 4 x 4 x 7cm pintadas por cinco caras (tipo C), se colocan dentro de un recipiente, apoyadas, por la cara sin pintar, en una capa de papel secante de 1 cm de grosor, totalmente empapado en agua, que cubre una altura de unos 3 mm de las probetas.

Se produce la ascensión de esta agua por capilaridad a través de la cara apoyada de contacto, hasta llegar a las caras libres, donde se evapora; esto hace que tenga lugar un flujo continuo de agua que puede solubilizar pequeñas cantidades de sulfato cálcico y arrastrarlo hasta la superficie, donde precipitará. Periódicamente se añade agua para mantener el nivel constante (Fig. 113). El ensayo se ha prolongado 40 días. Las probetas se han pesado en días alternos y también se ha medido la velocidad de ultrasonido.

Se sometieron a este ensayo tres probetas de cada dosificación sin ningún tratamiento, tres pintadas con yeso, y tres pintadas con cal.



Figura 113. Contenedores y probetas durante el Ensayo de capilaridad

Durante el transcurso del ensayo, se pudo observar como las probetas iban saturándose de agua sin sufrir alteración superficial en las caras que no estaban en contacto con la capa de agua.

Sin embargo, al final del ensayo de absorción por capilaridad, se pudo observar que parte de la escayola o yeso de la cara en contacto con el agua se había disuelto. Además, tanto en las probetas tratadas con yeso como en las tratadas con cal, se produce un deterioro en la capa de pintura en contacto con el agua (3 milímetros inferiores de las caras perpendiculares a la superficie de apoyo), disolviéndose en el caso de la pintura de yeso, y descascarillándose en el caso de la pintura de cal.

4.5.2.- Absorción de agua por inmersión

Con este ensayo se pretende simular el efecto del contacto con agua en gran cantidad, alternado con períodos de secado. Se ha adaptado el ensayo termohigrométrico empleado para estudiar tratamientos para materiales pétreos, utilizando una temperatura de secado más baja para no modificar el equilibrio de las fases del sulfato cálcico.

El ensayo ha estado formado por ciclos consistentes en 6 horas de inmersión en agua a 20°C, secado en estufa a 40°C durante 41 horas y 1 hora para enfriamiento, pesada y medida de la velocidad de ultrasonidos.

Las probetas utilizadas son las de 4 x 4 x 7cm pintadas por todas las caras (Tipo D) y las de referencia sin pintar. (Fig. 114).



Figura 114. Contenedor y probetas durante y tras el Ensayo de inmersión

En el caso de las probetas sin tratamiento, se produce disolución de la escayola o el yeso en el agua en la cual están inmersas. Esto se ve reflejado en la pérdida de peso de las probetas al concluir el ensayo (Tabla 42) y un aumento de la rugosidad de la superficie.

Tabla 42. Pesos medios de las probetas sin tratamiento antes y después del ensayo de inmersión

	Peso seco inicial (g)	Peso seco final (g)
Escayola 0,6	103,41	97,75
Escayola 0,8	125,15	119,1

La figura 115 muestra como la mayor parte de la pintura de yeso aplicada a las probetas se disuelve en el agua durante el ensayo y como la pintura de cal se deteriora como consecuencia de la inmersión en agua.



Figura 115. Estado de las probetas con pintura de yeso y cal tras el Ensayo de inmersión



4.6.- Resultados y discusión

- 4.6.1.- Porosidad
- 4.6.2.- Resistencia a flexión
- 4.6.3.- Resistencia a compresión
- 4.6.4.- Dureza superficial
- 4.6.5.- Permeabilidad
- 4.6.6.- Absorción de agua por capilaridad
- 4.6.7.- Velocidad de ultrasonido

4.6.- Resultados y discusión

4.6.1.- Porosidad

Siguiendo las especificaciones de la norma UNE-EN 1936:2007, se procede al cálculo de la porosidad de las probetas. Los valores de los pesos de las probetas se recoge en la tabla 43, presentándose el comparativo de los valores de las porosidades obtenidas, antes y después de los ensayos de capilaridad e inmersión, en la tabla 44.

Tabla 43. Valores de los pesos de las probetas antes de los ensayos de alteración

	Peso seco (g)	Peso saturado sumergido (g)	Peso saturado (g)
Escayola E35 0,6	307,42	176,47	438,35
Escayola E35 0,8	255,22	145,35	402,31
Yeso B1 0,6	317,66	183,37	442,18
Yeso B1 0,8	266,77	154,93	414,4

Tabla 44. Valores de porosidad tras el ensayo de capilaridad e inmersión

Tipo de Probeta	Porosidad (%) antes de ensayos	Tratamiento de la probeta	Porosidad (%) tras ensayo de Capilaridad	Porosidad (%) tras el ensayo de inmersión
Escayola E35 0,6	50,00%	Sin tratamiento	50,41	50,25
Escayola E35 0,6		Pintada con yeso	49,66	50,00
Escayola E35 0,6		Pintada con cal	49,59	49,35
Escayola E35 0,8	57,24%	Sin tratamiento	57,69	58,16
Escayola E35 0,8		Pintada con yeso	58,27	57,97
Escayola E35 0,8		Pintada con cal	58,03	57,61
Yeso B1 0,6	48,11%	Sin tratamiento	48,09	47,66
Yeso B1 0,6		Pintada con yeso	47,77	48,65
Yeso B1 0,6		Pintada con cal	48,27	48,48
Yeso B1 0,8	56,90%	Sin tratamiento	56,60	56,12
Yeso B1 0,8		Pintada con yeso	55,79	56,65
Yeso B1 0,8		Pintada con cal	54,70	54,75

Lógicamente, los yesos con mayor proporción de agua son los más porosos.

En la figura 116 se representan estos resultados gráficamente para la escayola E35 (2,6 - sin aplicación, 3,7 - con yeso y 4,8 - con cal),

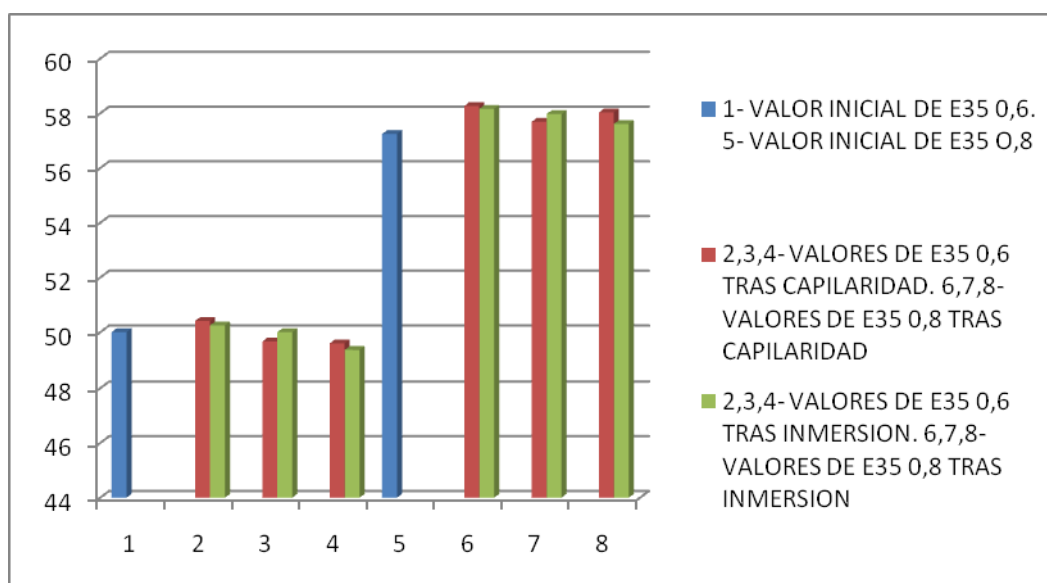


Figura 116. Valores de porosidad para la E35

a) Tras someter las probetas sin tratamiento, a los ensayos de capilaridad e inmersión, los valores de porosidad aumentan ligeramente para ambas dosificaciones de escayola, quedando prácticamente igual para los yesos. Siendo este aumento algo más acusado tras el ensayo de capilaridad.

b) Para el caso de las probetas con pintura de yeso, observamos que la porosidad disminuye en general tras el ensayo de capilaridad y permanece prácticamente igual tras el de inmersión, para la dosificación 0,6. Sin embargo, para la dosificación 0,8 la porosidad ha aumentado, tanto tras el ensayo de capilaridad como tras el de inmersión, siendo este aumento algo mayor para el caso del ensayo de inmersión.

c) Los resultados obtenidos para las probetas encaladas, siguen demostrando una disminución de porosidad para la dosificación 0,6, pero en este caso, la disminución es algo menor tras el ensayo de inmersión. Sin embargo, para la dosificación 0,8 la porosidad ha aumentado, tanto tras el ensayo de capilaridad como tras el de inmersión, siendo este aumento algo mayor para el caso del ensayo de capilaridad.

Como conclusión parcial, podemos decir para las escayolas que:

- Se produce un aumento de la porosidad en las probetas sin tratamiento sometidas a los ensayos de capilaridad e inmersión para las dos dosificaciones.
- Se origina una disminución de la porosidad en las probetas de escayola 0.6 tratadas con yeso tras el ensayo de capilaridad, quedando igual después del de

inmersión, así como un aumento en las probetas de escayola 0,8 tras los dos ensayos, siendo algo más acusado tras el de capilaridad.

- Se ocasiona una disminución de la porosidad en las probetas de escayola 0,6 tratadas con yeso, tanto tras el ensayo de capilaridad como del de inmersión, así como un aumento en las probetas de escayola 0,8 tras los dos ensayos, siendo algo más acusado tras el de capilaridad.

En la figura 117 se representan estos resultados para el yeso B1 (2,6 - sin aplicación, 3,7 - con yeso y 4,8 - con cal).

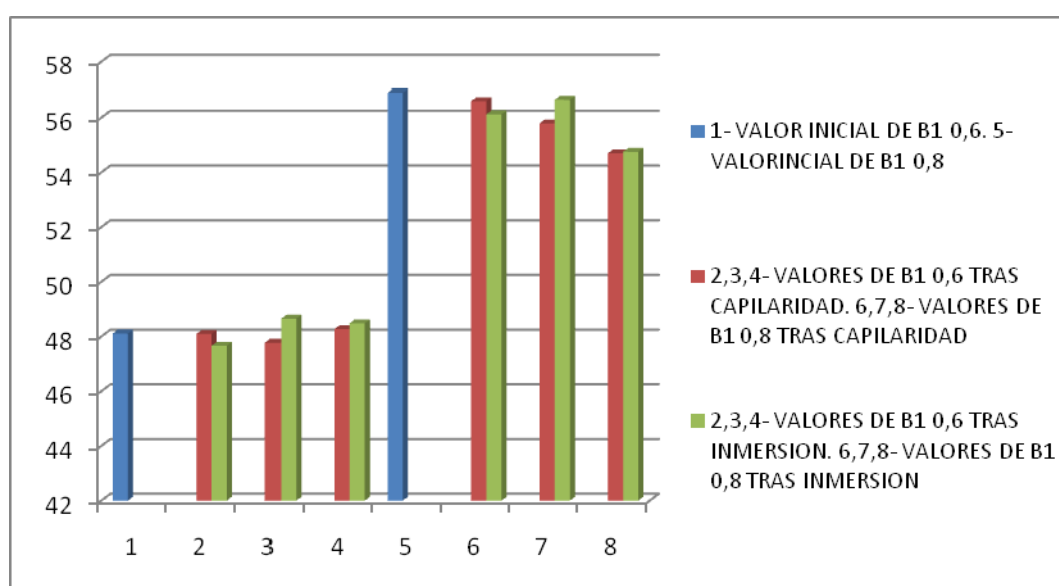


Figura 117. Valores de porosidad para los B1

a) Tras someter las probetas sin tratamiento, a los ensayos de capilaridad e inmersión, los valores de porosidad disminuyen en ambas dosificaciones. Siendo ésta algo más acusada tras el ensayo de inmersión.

b) Para el caso de las probetas con pintura de yeso, observamos que la porosidad disminuye tras el ensayo de capilaridad y aumenta tras el de inmersión, para la dosificación 0,6. Sin embargo, para la dosificación 0,8 la porosidad ha disminuido, tanto tras el ensayo de capilaridad como tras el de inmersión, siendo ésta algo menos acusada tras el ensayo de inmersión.

c) Los resultados obtenidos para las probetas encaladas, muestran por el contrario un aumento de la porosidad para la dosificación 0,6, pero en este caso, el aumento es mucho mayor tras el ensayo de inmersión. Sin embargo, para la dosificación 0,8 la

porosidad ha disminuido por igual, tanto tras el ensayo de capilaridad como tras el de inmersión.

Como conclusión parcial, podemos decir para los yesos que:

- Se produce una disminución de la porosidad en las probetas sin tratamiento sometidas a los ensayos de capilaridad e inmersión para las dos dosificaciones.
- Se origina una disminución de la porosidad en las probetas 0,6 y 0,8 tras el ensayo de capilaridad, aumentando después del de inmersión para la 0,6 y disminuyendo en la 0,8.
- Se ocasiona un aumento de la porosidad en las probetas 0,6 tratadas con cal, tanto tras el ensayo de capilaridad como del de inmersión, siendo ésta muy acusada tras éste último, así como una disminución en las probetas de yeso 0,8 tras los dos ensayos.

4.6.2.- Resistencia a flexión

Para el cálculo de las medidas de la resistencia a flexión de las nuevas probetas fabricadas, se ha seguido el procedimiento indicado en la norma UNE-EN 13279-2, apuntado anteriormente.

En la tabla 45 se recogen los valores de la carga de rotura y la resistencia a flexión.

Tabla 45. Valores de resistencia a flexión obtenidos de las probetas antes de alteración

	Fuerza (Kp)	R _F (N/mm ²)
Escayola E35 0.6	172	4,0248
Escayola E35 0.8	107	2,5038
Yeso B1 0,6	114	2,6676
Yeso B1 0,8	68	1,5912

Observando los resultados, se puede concluir que a mayor porosidad y por tanto a menor relación agua/yeso, menor es la resistencia a flexión en cada producto ensayado. Del mismo modo, a mayor finura y menor contenido de impurezas, mayor es la resistencia a flexión.

Después de los ensayos de alteración no se ha podido realizar esta medida ya que las probetas de 4 x 4 x 7 cm, no presentan dimensiones normalizadas.

4.6.3.- Resistencia a compresión

Para el cálculo de las medidas de la resistencia a compresión, se ha seguido el procedimiento indicado en la norma UNE-EN 13279-2, apuntado anteriormente.

En la tabla 46 se recogen los valores de la carga de rotura y la resistencia a compresión, presentándose el comparativo de los valores de las resistencias obtenidas, antes y después de los ensayos de capilaridad e inmersión, en la tabla 47.

Tabla 46. Valores de resistencia a compresión obtenidos de las probetas antes de alteración

	Fuerza (Kp)	RC (N/mm ²)
Escayola E35 0,6	2101	13,13125
	2145	13,40625
Escayola E35 0,8	1084	6,775
	1208	7,55
Yeso B1 0,6	1332	8,325
	1424	8,9
Yeso B1 0,8	770	4,8125
	748	4,675

Tabla 47. Valores de resistencia a compresión obtenidos de las probetas antes y después de los ensayos de capilaridad e inmersión

Tipo de Probeta	RC (N/mm ²) media antes de ensayos	Tratamiento de la probeta	RC (N/mm ²) tras ensayo de Capilaridad	RC (N/mm ²) tras el ensayo de inmersión
Escayola E35 0,6	13,26875	Sin tratamiento	9,4562	7,9312
Escayola E35 0,6		Pintada con yeso	9,0875	7,9687
Escayola E35 0,6		Pintada con cal	10,0187	7,7250
Escayola E35 0,8	7,1625	Sin tratamiento	7,3562	5,4875
Escayola E35 0,8		Pintada con yeso	6,2875	4,9062
Escayola E35 0,8		Pintada con cal	6,4000	5,1875
Yeso B1 0,6	8,6125	Sin tratamiento	7,8937	6,3875
Yeso B1 0,6		Pintada con yeso	8,4375	5,6375
Yeso B1 0,6		Pintada con cal	7,0062	4,9312
Yeso B1 0,8	4,74375	Sin tratamiento	4,4312	3,1937
Yeso B1 0,8		Pintada con yeso	4,0312	3,4875
Yeso B1 0,8		Pintada con cal	4,8625	3,9875

Al igual que en el ensayo a flexión, se observa que a mayor porosidad, menor es la resistencia a compresión.

En la figura 118 se representan estos resultados para la escayola E35 (2,6 - sin aplicación, 3,7 - con yeso y 4,8 - con cal).

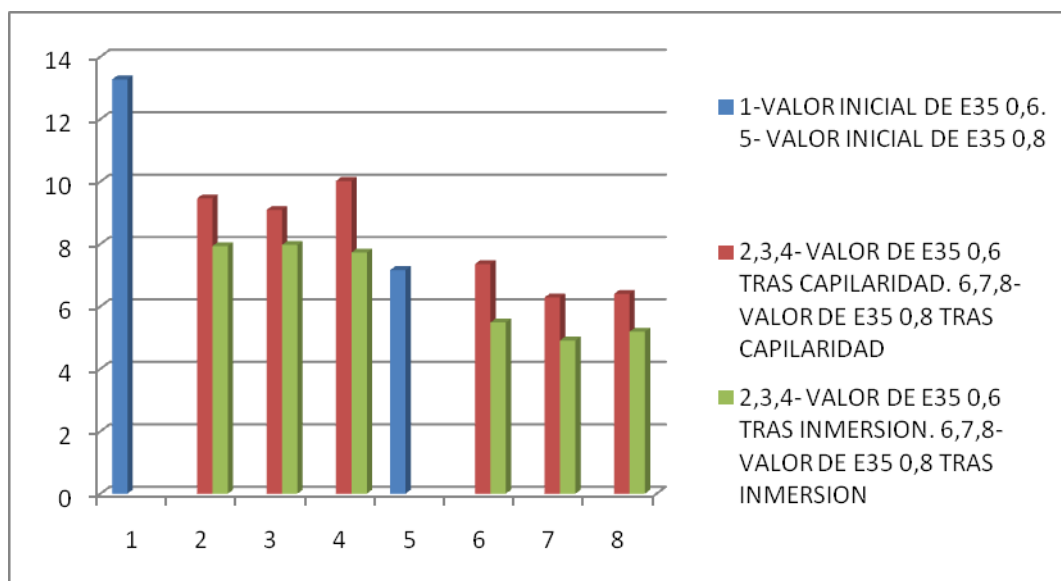


Figura 118. Valores de resistencia a compresión para E35

- a) Observando la variación de resistencia a compresión de las probetas de escayola E35 sin tratamiento, tras ser sometidas a los ensayos de capilaridad e inmersión, vemos que en ambos casos ha disminuido, siendo estas disminuciones mayores tras el ensayo de inmersión.
- b) En el caso de las probetas pintadas con yeso, la resistencia a compresión también disminuye tras ambos ensayos, siendo éstas más acusadas para las probetas sometidas al ensayo de inmersión.
- c) Al igual que en los casos anteriores, las probetas encaladas también experimentan una disminución de la resistencia a compresión tras ambos ensayos, correspondiendo igualmente, una disminución aún mayor para las probetas sometidas al ensayo de inmersión.

Como conclusión parcial podemos decir que en todas las probetas de E35 se produce un efecto de disminución de la resistencia a compresión, tanto tras el ensayo de capilaridad como del de inmersión, siendo más acusada ésta tras éste último.

En la figura 119 se representan estos resultados para el yeso B1 (2,6 - sin aplicación, 3,7 - con yeso y 4,8 - con cal).

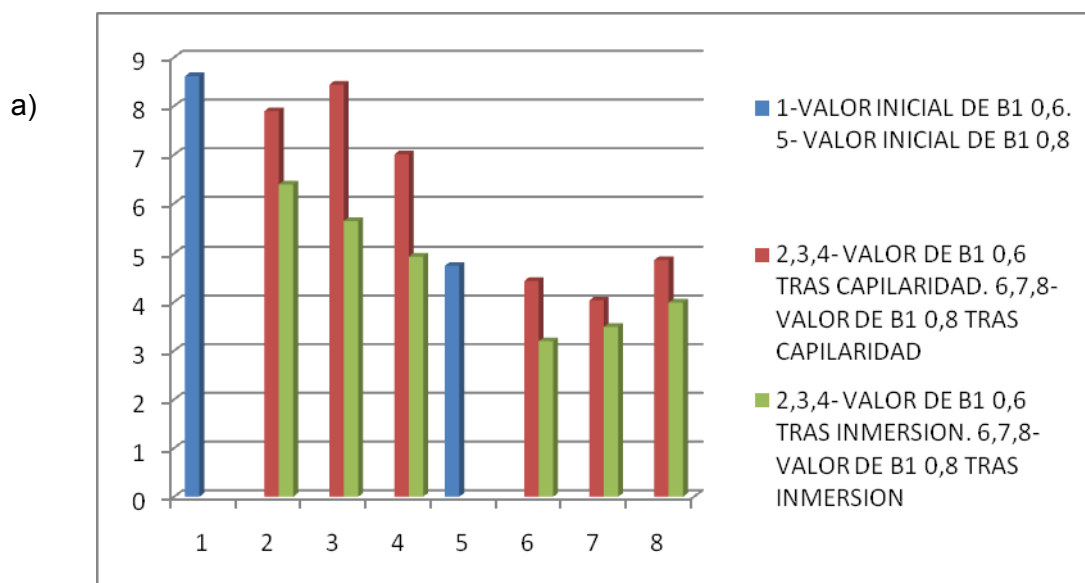


Figura 119. Valores de resistencia a compresión para B1

Observando la variación de resistencia a compresión de las probetas de yeso B1 sin tratamiento, tras ser sometidas a los ensayos de capilaridad e inmersión, vemos que en ambos casos ha disminuido, siendo estas disminuciones mayores tras el ensayo de inmersión.

b) Para el caso de las probetas pintadas con yeso, la resistencia a compresión también disminuye tras ambos ensayos, siendo éstas más acusadas para las probetas sometidas al ensayo de inmersión.

c) Al igual que en el caso anterior, las probetas encaladas también experimentan una disminución de la resistencia a compresión tras los ensayos de los yesos dosificados a 0,6, correspondiendo igualmente, una disminución aún mayor para las probetas sometidas al ensayo de inmersión. Tan solo el yeso 0,8 tras la capilaridad presenta un pequeño repunte en su resistencia.

Como conclusión parcial podemos decir que en todas las probetas de yeso B1 se produce un efecto de disminución de la resistencia a compresión, tanto tras el ensayo de capilaridad como del de inmersión, siendo más acusada ésta tras éste último.

4.6.4.- Dureza superficial

La medida de la dureza superficial de las distintas probetas de yeso se realizó antes y después de someterlas a los ensayos de alteración. Nos interesa estudiar cómo ha variado esta propiedad en función del tratamiento superficial recibido y del ensayo de alteración al que se ha sometido.

En la tabla 48 se recogen los valores medios de la dureza antes de ser sometidas a los ensayos de alteración, así como de las porosidades obtenidas en el apartado 4.7.1.

Podemos observar, tanto para las probetas sin tratamiento como en las pintadas con yeso, que a mayor relación agua/yeso, es decir, a mayor porosidad, menor es la dureza superficial.

La dureza de las probetas encaladas no fue medida para evitar el posible deterioro de esta capa de cal, ya que al incidir sobre ella con el durómetro se produce el desprendimiento de la misma. No obstante, tras los ensayos de alteración se midió esta dureza sobre los restos de encalado que aún permanecían bien adheridos.

Tabla 48. Valores de la dureza obtenida de las probetas antes de alteración

	Muestra	Dureza Shore C	Porosidad(%)
Sin Tratamiento	Escayola E35 0,6	81	50,41
	Escayola E35 0,8	67.7	58,27
Pintadas con yeso	Escayola E35 0,6	75.5	49,66
	Escayola E35 0,8	70.7	57,69
Sin Tratamiento	Yeso B1 0,6	76	48,09
	Yeso B1 0,8	60	56,60
Pintadas con yeso	Yeso B1 0,6	79	47,77
	Yeso B1 0,8	60	55,79

En la tabla 49 se recoge el comparativo de los valores de las durezas obtenidas, antes y después de los ensayos de capilaridad e inmersión.

Tabla 49. Dureza de las probetas tras ensayos de alteración por capilaridad e inmersión

Tipo de Probeta	Dureza media antes de ensayos	Tratamiento de la probeta	Dureza media tras ensayo de Capilaridad	Dureza media tras el ensayo de inmersión
Escayola E35 0,6	81	Sin tratamiento	85,6	82,3
Escayola E35 0,6	75,5	Pintada con yeso	86	83
Escayola E35 0,6	-	Pintada con cal	86,1	81
Escayola E35 0,8	67,7	Sin tratamiento	71,1	69
Escayola E35 0,8	70,7	Pintada con yeso	74,6	70,7
Escayola E35 0,8	-	Pintada con cal	72,9	72,2
Yeso B1 0,6	76	Sin tratamiento	79,7	73,6
Yeso B1 0,6	79	Pintada con yeso	81,7	76,9
Yeso B1 0,6	-	Pintada con cal	81	78,9
Yeso B1 0,8	60	Sin tratamiento	64,9	60,8
Yeso B1 0,8	60	Pintada con yeso	68,7	62,4
Yeso B1 0,8	-	Pintada con cal	71,5	64

De una manera general, si observamos los valores de dureza obtenidos antes y después de someter las probetas al ensayo de capilaridad, observamos que la dureza ha aumentado para todos los tipos de probetas ensayadas.

Al igual que tras el ensayo de capilaridad, la dureza ha aumentado para todas las probetas ensayadas, pero en este caso, el aumento es menos acusado.

En la figura 120 se representan los valores de dureza para la escayola E35 (2,6 - sin aplicación, 3,7 - con yeso y 4,8 - con cal).

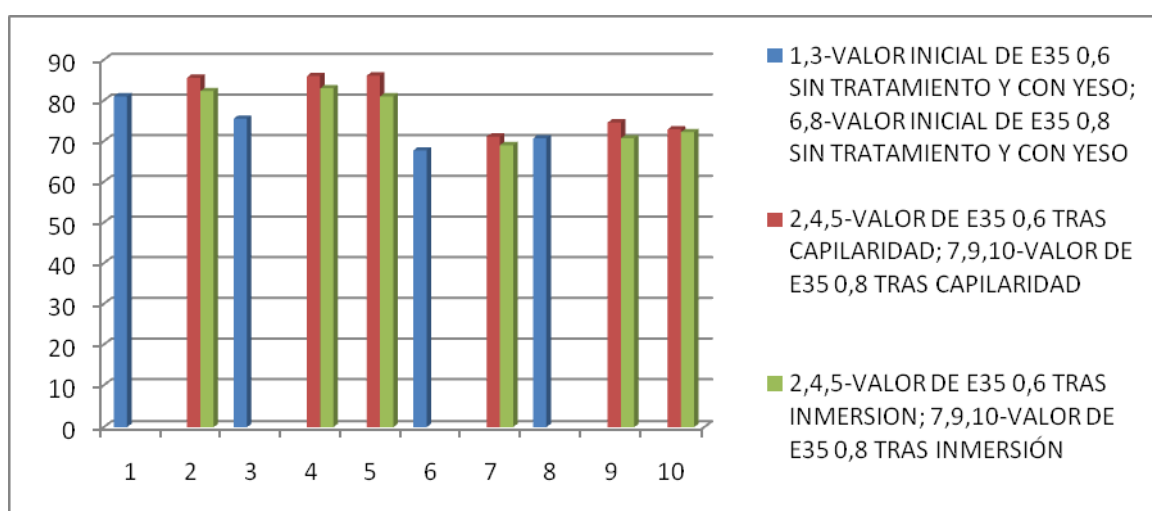


Figura 120. Valores de dureza para E35

a) Podemos observar, que independientemente del tratamiento aplicado a las probetas E35 0,6 y 0,8, el aumento de dureza más acusado se produce tras la realización del ensayo de capilaridad. El ensayo de inmersión, también ha provocado un aumento de la dureza, aunque menos significativo.

b) Las probetas pintadas tienen siempre una dureza mayor que las no tratadas. Tras el ensayo de capilaridad, los mayores valores de dureza corresponden a las probetas pintadas con yeso. Tras el ensayo de inmersión, los valores de dureza más elevados corresponden a las probetas con yeso en la E35 0,6 y a las encaladas en la E35 0,8.

De una manera más general observamos que independientemente del tratamiento y del ensayo al que se someten las probetas, en el caso de la escayola más porosa (E35 0,8), los valores de dureza son siempre inferiores a los de la escayola E35 0,6.

En la figura 121 se recogen estos resultados para el yeso B1 (2,6 - sin aplicación, 3,7 - con yeso y 4,8 - con cal).

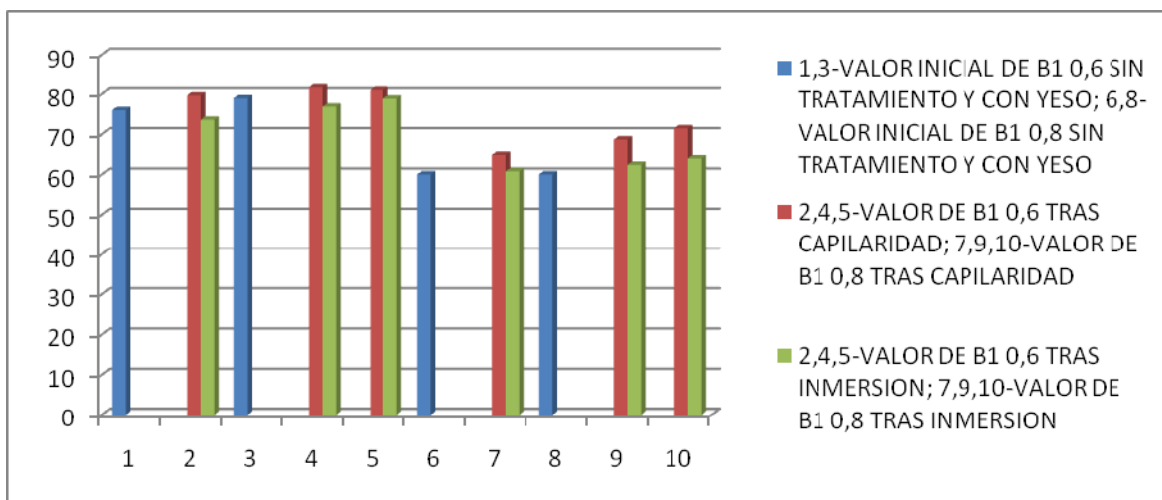


Figura 121. Valores de dureza para B1

a) Podemos observar, que independientemente del tratamiento aplicado a las probetas B1 0,6 y 0,8, el aumento de dureza más acusado se produce tras la realización del ensayo de capilaridad. El ensayo de inmersión por el contrario, ha provocado una disminución de la dureza en la dosificación 0,6, y un aumento en la 0,8.

b) Las probetas pintadas tienen siempre una dureza mayor que las no tratadas. Tras el ensayo de capilaridad, los mayores valores de dureza corresponden a las probetas pintadas con yeso B1 y dosificación 0,6 y para las encaladas con yeso B1 de relación 0,8. Tras el ensayo de inmersión, los valores de dureza más elevados corresponden, tanto para las probetas con yeso de relación 0,6 como para 0,8, a las encaladas.

De una manera más general observamos que independientemente del tratamiento y del ensayo al que se someten las probetas, en el caso del yeso más poroso (B1 0,8), los valores de dureza son siempre inferiores a los del B1 0,6.

4.6.5.- Permeabilidad

El ensayo de permeabilidad anteriormente explicado (4.4.2), se realiza con probetas inalteradas y después de ser sometidas a los ensayos de alteración acelerada.

Podemos definir el coeficiente de permeabilidad como la cantidad de agua que atraviesa la probeta por unidad de superficie y tiempo, y se puede calcular como la pendiente de la recta resultante tras representar la pérdida de peso del contenedor en función del tiempo.

Se han utilizado dos muestras para cada tipo de probeta, obteniéndose un valor de coeficiente de permeabilidad medio.

A título de ejemplo se exponen en las figuras 122, 123 y 124 las gráficas correspondientes a las muestras de escayola 0,6 pintada con yeso, inicial, tras el ensayo de capilaridad y tras el ensayo de inmersión respectivamente.

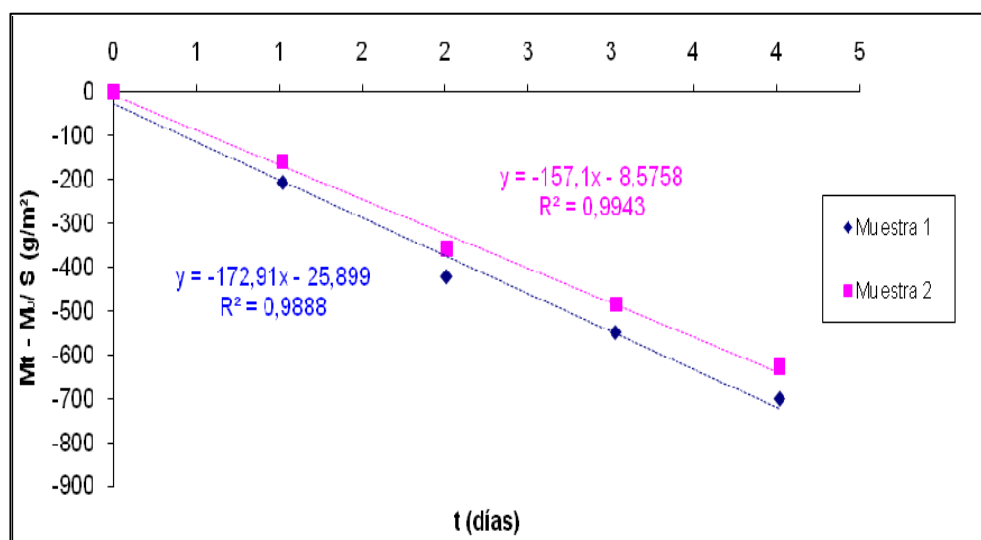


Figura 122. Coeficiente de permeabilidad inicial para escayola 0,6 pintada con yeso

Los valores de las pendientes de ambas rectas, para la **escayola 0,6 pintada con yeso inicial**, son respectivamente, 172,91 y 157,1 (g/m².día), que corresponden a valores del coeficiente de permeabilidad simplificado a 25 °C.

A partir de estos valores, obtenemos el coeficiente de permeabilidad medio a 20 °C y corregido al espesor.

El coeficiente inicial de permeabilidad de la escayola 0,6 pintada con yeso resulta de

$$149 \frac{\text{g}}{\text{m}^2 \cdot \text{día}}$$

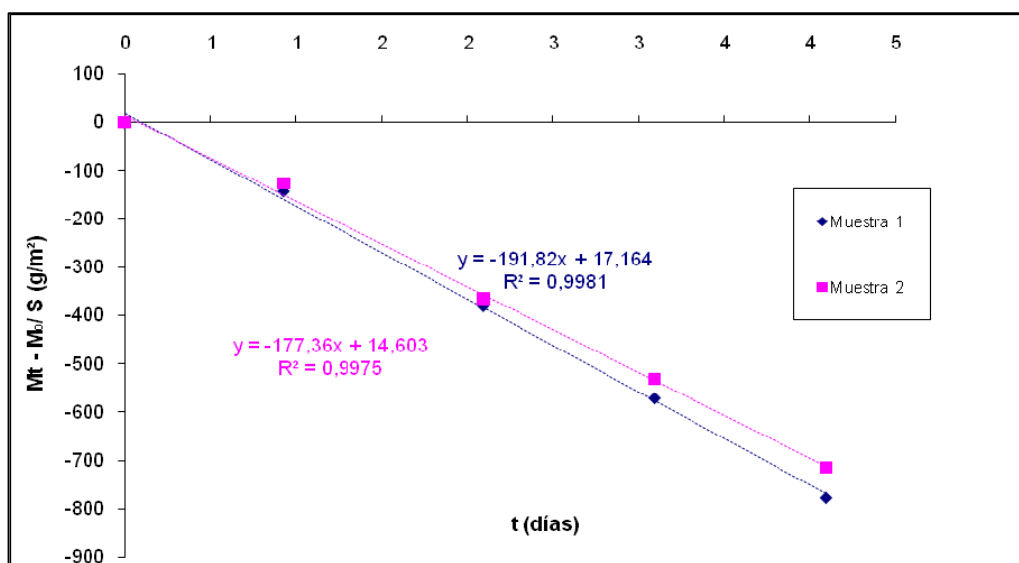


Figura 123. Coeficiente de permeabilidad para escayola 0,6 pintada con yeso tras ensayo de capilaridad

Los valores de las pendientes de ambas rectas, para la **escayola 0,6 pintada con yeso tras capilaridad**, son respectivamente, 191,82 y 177,36 (g/m².día), que corresponden a valores del coeficiente de permeabilidad simplificado a 25 °C.

A partir de estos valores, obtenemos el coeficiente de permeabilidad medio a 20 °C y corregido al espesor.

Para el caso de la escayola 0.6 pintada con yeso y tras ser sometida al ensayo de absorción por capilaridad, el coeficiente de permeabilidad resulta de $163 \frac{g}{m^2 \cdot día}$.

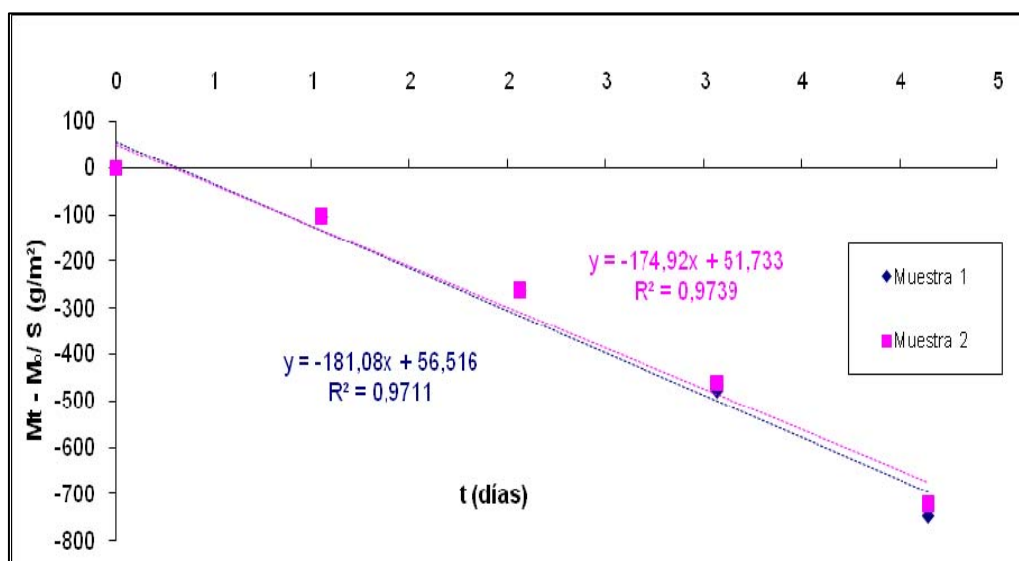


Figura 124. Coeficiente de permeabilidad para escayola 0,6 pintada con yeso tras ensayo de inmersión

Los valores de las pendientes de ambas rectas, para la **escayola 0,6 pintada con yeso tras inmersión**, son respectivamente, 181,08 y 174,92 (g/m². día), que corresponden a valores del coeficiente de permeabilidad simplificado a 25 °C.

A partir de estos valores, obtenemos el coeficiente de permeabilidad medio a 20 °C y corregido al espesor.

Para el caso de la probeta de escayola 0,6 pintada con yeso y tras ser sometida al ensayo de absorción por inmersión, el coeficiente de permeabilidad resulta de $159 \frac{g}{m^2 \cdot día}$.

En la tabla 50 se presentan resumidamente los resultados obtenidos para este tipo de probeta.

Tabla 50. Coeficientes de permeabilidad de la escayola 0,6 pintada con yeso

	Coeficiente de permeabilidad $\left(\frac{g}{m^2 \cdot día}\right)$
Valor inicial	149
Tras ensayo capilaridad	163
Tras ensayo inmersión	159

Con el resto de las muestras se procede de la misma forma, con lo que se obtienen los valores que se recogen en las tablas 51 y 52.

Tabla 51. Coeficientes de permeabilidad de la escayola 0,6

	Coeficiente de permeabilidad		
	Sin tratamiento	Pintura de yeso	Pintura de cal
Valor inicial	140	149	135
Tras ensayo capilaridad	268	163	170
Tras ensayo inmersión	145	159	149

a) Observando los valores de los coeficientes de permeabilidad antes de los ensayos de alteración, se comprueba que las diferencias entre los valores iniciales son muy pequeñas, lo que puede deberse a un buen comportamiento de los revestimientos, que no modifican apreciablemente la capacidad de transferencia de la humedad.

b) Para los tres tipos de probetas -sin tratamiento, pintada con yeso y encalada- los coeficientes de permeabilidad aumentan tras ser sometidas a los ensayos de alterabilidad.

A pesar de los pequeños cambios en la porosidad, se observan variaciones bastante significativas en los coeficientes de permeabilidad. Se observa también en los tres casos, que este aumento es más acusado tras la realización del ensayo de absorción por capilaridad. Podríamos explicarlo suponiendo que el agua al ascender por las probetas disuelve parte del yeso y crea caminos preferenciales más porosos, que son los mismos que permiten el paso del vapor de agua a mayor velocidad. También podría haberse producido un cambio en el tamaño de los poros, aumentando los radios de los mismos, con lo que un intercambio de vapor se produce con más facilidad, aunque la porosidad abierta total sea idéntica.

Tabla 52. Coeficientes de permeabilidad de la escayola 0,8

	Coeficiente de permeabilidad		
	Sin tratamiento	Pintura de yeso	Pintura de cal
Valor inicial	153	147	147
Tras ensayo capilaridad	204	184	180
Tras ensayo inmersión	165	155	157

a) Observando los valores de coeficientes de permeabilidad antes de los ensayos de alteración, se comprueba que las diferencias entre los valores iniciales son muy pequeñas, lo cual puede ser un buen comportamiento de los revestimientos, que no modifican apreciablemente la capacidad de transferencia de la humedad.

b) Para los tres tipos de probetas – sin tratamiento, pintada con yeso y encalada- los coeficientes de permeabilidad aumentan tras ser sometidas a los ensayos de alteración. Se observa también en los tres casos, que este aumento es más acusado tras la realización del ensayo de absorción por capilaridad. En este caso podría considerarse la misma explicación que en la escayola 0,6.

La tabla 53 contiene los valores de todos los coeficientes de permeabilidad calculados, tanto de la escayola 0,6 como la 0,8:

Tabla 53. Coeficientes de permeabilidad de la escayola 0,6 y 0,8

	Escayola 0,6			Escayola 0,8		
	Sin tratar	Con yeso	Con cal	Sin tratar	Con yeso	Con cal
Valor inicial	140	149	135	153	147	147
Tras ensayo capilaridad	268	163	170	204	184	180
Tras ensayo inmersión	145	159	149	165	155	157

Como ya se ha mencionado anteriormente, a mayor porosidad, mayor facilidad para el intercambio de vapor y por tanto, mayor coeficiente de permeabilidad.

Sin embargo, hay algunos casos en los que esta regla no se cumple. En aquellas probetas cuyos coeficientes de permeabilidad han sido calculados una vez sometidas a ensayo de alterabilidad – escayola 0,8 sin tratamiento tras ensayo de capilaridad, escayola 0,8 pintada de yeso tras ensayo de inmersión- podríamos relacionar esta anomalía con la posible formación de un camino preferente del agua durante el ensayo.

Es posible que tras el ensayo de absorción de agua, debido al flujo continuo del agua a través de las probetas, ésta cree un camino principal de paso. También podría haberse producido un cambio en la distribución del tamaño de los poros, aumentando el radio de los mismos, lo cual facilitaría el intercambio de vapor. Estos podrían ser los motivos por los que los coeficientes de permeabilidad tras el ensayo de absorción por capilaridad alcanzan para todos los casos los valores máximos.

Tabla 54. Coeficientes de permeabilidad del yeso 0,6 encalado

	Coeficiente de permeabilidad		
	Sin tratamiento	Pintura de yeso	Pintura de cal
Valor inicial	103	97	106
Tras ensayo capilaridad	230	219	214
Tras ensayo inmersión	189	182	186

a) Observando los valores de los coeficientes de permeabilidad antes de los ensayos de alteración, se comprueba que las diferencias entre los valores iniciales son muy altos, al contrario que ocurre con la escayola 0,6, lo que puede deberse a un peor

comportamiento de los revestimientos de yeso frente a los de escayola, modificando apreciablemente la capacidad de transferencia de la humedad.

b) Para los tres tipos de probetas -sin tratamiento, pintada con yeso y encalada- los coeficientes de permeabilidad aumentan tras ser sometidas a los ensayos de alterabilidad. Se observa también en los tres casos, que este aumento es más acusado tras la realización del ensayo de absorción por capilaridad. Podríamos explicarlo al igual que para la escayola, suponiendo que el agua al ascender por las probetas disuelve parte del yeso y crea caminos preferenciales más porosos, que son los mismos que permiten el paso del vapor de agua a mayor velocidad.

Tabla 55. Coeficientes de permeabilidad del yeso 0,8

	Coeficiente de permeabilidad		
	Sin tratamiento	Pintura de yeso	Pintura de cal
Valor inicial	118	119	97
Tras ensayo capilaridad	279	254	202
Tras ensayo inmersión	205	208	191

a) Observando los valores de coeficientes de permeabilidad antes de los ensayos de alteración, se comprueba que las diferencias entre los valores iniciales son muy pequeñas, lo cual puede ser un buen comportamiento de los revestimientos, que no modifican apreciablemente la capacidad de transferencia de la humedad, al contrario de lo que ocurría con el yeso 0,6.

b) Para los tres tipos de probetas – sin tratamiento, pintada con yeso y encalada- los coeficientes de permeabilidad aumentan más que en el yeso 0,6 y en sendas escayolas, tras ser sometidas a los ensayos de alteración. Se observa también en los tres casos, que este aumento es más acusado tras la realización del ensayo de absorción por capilaridad. En este caso podría considerarse la misma explicación que en el yeso 0,6.

La tabla 56 contiene los valores de todos los coeficientes de permeabilidad calculados, tanto del yeso 0,6 como del 0,8:

Tabla 56. Coeficientes de permeabilidad del yeso 0,6 y 0,8

	Yeso 0,6			Yeso 0,8		
	Sin tratar	Con yeso	Con cal	Sin tratar	Con yeso	Con cal
Valor inicial	103	97	106	118	119	97
Tras ensayo capilaridad	230	219	214	279	254	202
Tras ensayo inmersión	189	182	186	205	208	191

4.6.6.- Velocidad de ultrasonidos

En las tablas 57 y 58, se muestran los valores de velocidad de ultrasonidos en las probetas ensayadas, antes y después de ser sometidas a los dos ensayos de alteración.

Tabla 57. Velocidad ultrasonido escayola 0,6 antes y después de los ensayos de alteración

	Ensayo de capilaridad		Ensayo de inmersión	
	Veloc.inic. (m/s)	Veloc.final (m/s)	Veloc.inic. (m/s)	Veloc.final (m/s)
Sin tratamiento	2470	2430	2480	2460
Pintura de yeso	2320	2340	2490	2460
Pintura de cal	2310	2290	2130	2360

Tabla 58. Velocidad ultrasonido escayola 0,8 antes y después de los ensayos de alteración

	Ensayo de capilaridad		Ensayo de inmersión	
	Veloc.inic. (m/s)	Veloc.final (m/s)	Veloc.inic. (m/s)	Veloc.final (m/s)
Sin tratamiento	2110	2150	2220	2260
Pintura de yeso	2230	2150	2360	2230
Pintura de cal	2120	2240	1960	2180

Podemos observar que la velocidad de ultrasonidos apenas ha experimentado cambios tras someter las probetas a los ensayos de alteración.

Como regla general, la velocidad de transmisión de ultrasonidos disminuye al aumentar la porosidad, ya que la propagación en el material de escayola es más rápida que en el medio aire.

Como las variaciones en la porosidad tras los ensayos de alteración han sido muy pequeñas, los cambios en la velocidad de ultrasonidos han sido poco significativos.

Velocidad de ultrasonidos en estado húmedo

Durante el ensayo de absorción por inmersión, se ha determinado también la velocidad de ultrasonidos en las probetas después de la fase de secado de cada ciclo. Dado que el secado se realiza a 40°C, no se llega a eliminar completamente el agua absorbida, por lo que se obtienen valores dependientes del contenido de humedad.

También se ha estudiado la variación de dicha velocidad frente al contenido en agua de las probetas sometidas al ensayo de absorción por capilaridad.

En las figuras 125, 126, 127, 128, 129 y 130 se han representado dichos valores pero, salvo en la primera de ellas, no se aprecia ninguna relación entre ellos.

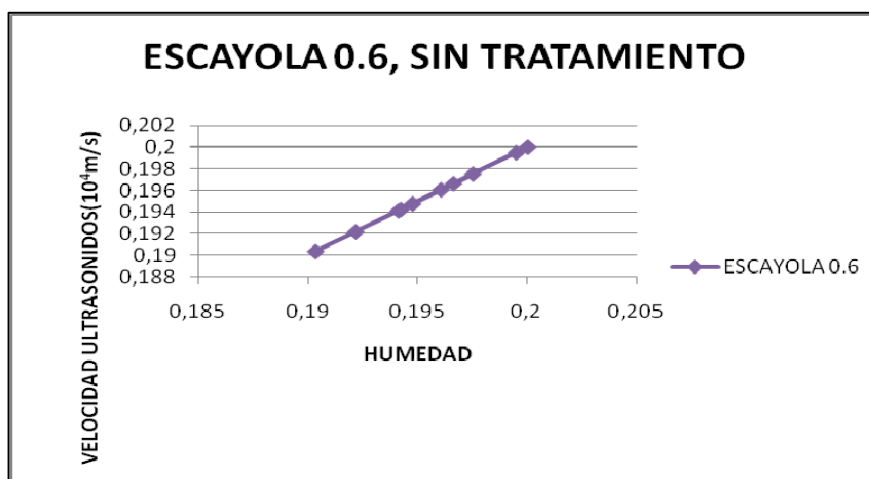


Figura 125. Velocidad de ultrasonido frente a la humedad de la escayola 0,6 sin tratamiento

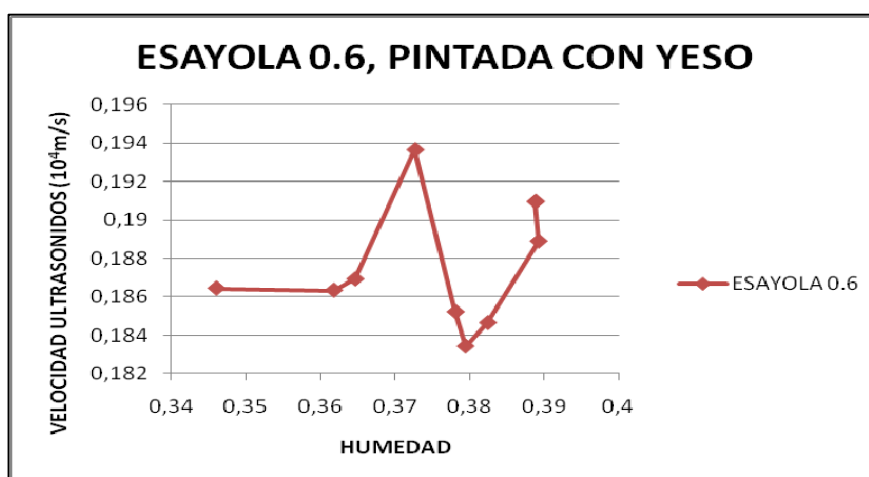


Figura 126. Velocidad de ultrasonido frente a la humedad de la escayola 0,6 con pintura de yeso

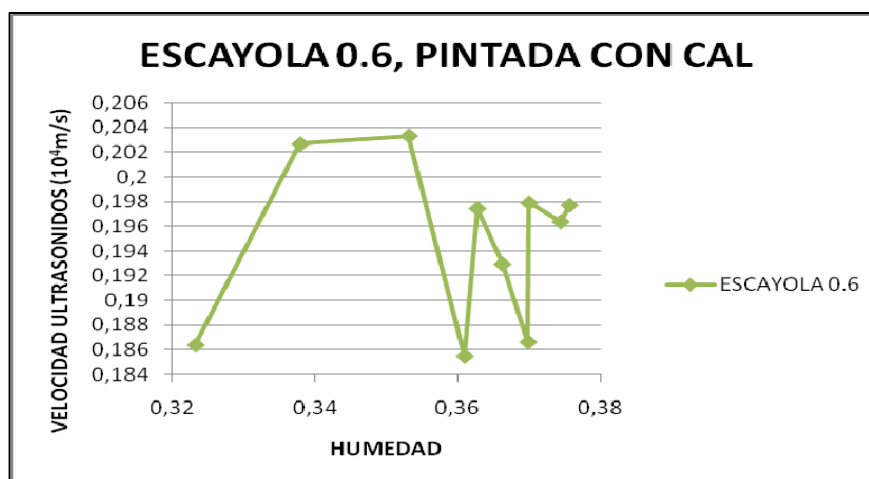


Figura 127. Velocidad de ultrasonido frente a la humedad de la escayola 0,6 con pintura de cal

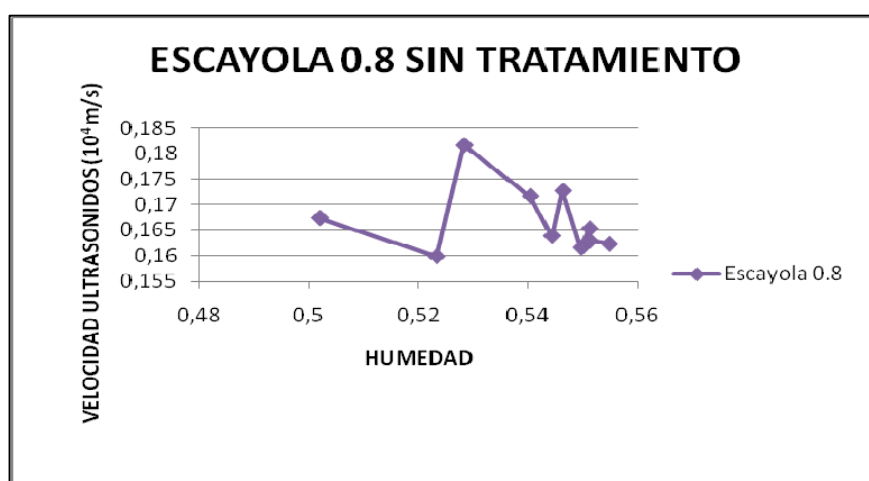


Figura 128. Velocidad de ultrasonido frente a la humedad de la escayola 0,8 sin tratamiento

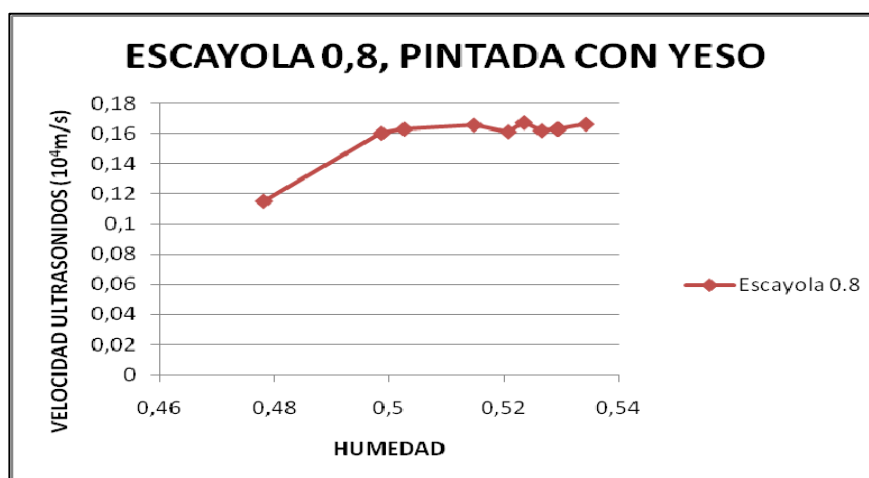


Figura 129. Velocidad de ultrasonido frente a la humedad de la escayola 0,8 pintada con yeso

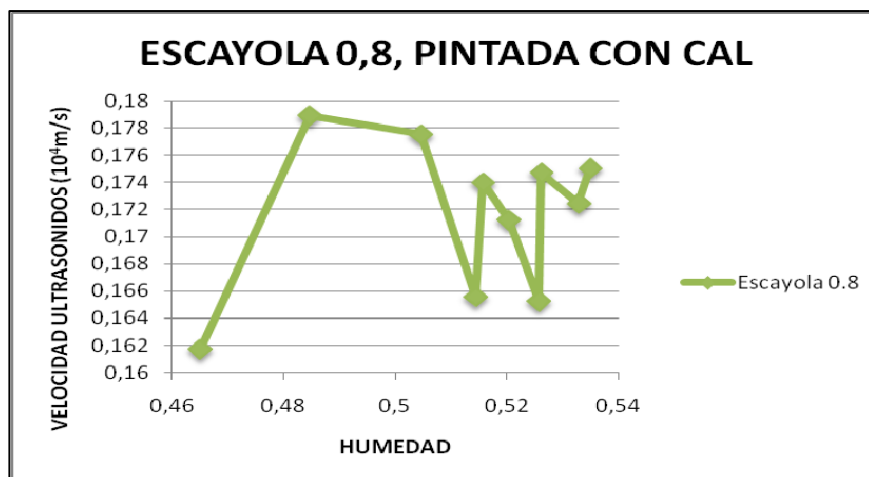


Figura 130. Velocidad de ultrasonido frente a la humedad de la escayola 0,8 pintada con cal

Al contrario de lo esperado, los valores de velocidad en estado húmedo son menores que en estado seco. En otros estudios realizados con materiales pétreos se ha encontrado el efecto contrario (Muñoz, 2007), por lo que habría que estudiar a qué se debe esta diferencia.



4.7.- Conclusiones parciales de Durabilidad

4.7.- Conclusiones parciales de Durabilidad

A continuación se resumen las conclusiones parciales de durabilidad extraídas.

- La principal de ellas es que, todas las propiedades del material estudiadas están muy relacionadas con la porosidad, estándolo a su vez con las relaciones A/Y. Al haber trabajado solo con dos dosificaciones, se han obtenido dos valores de porosidad para cada yeso, por lo que no ha podido determinarse de forma precisa su efecto en las restantes propiedades físicas y mecánicas.
- En segundo lugar, se ha demostrado que la permeabilidad del material no experimenta cambios significativos al aplicar las capas de pintura. Este hecho es algo positivo, ya que estos revestimientos no impiden que la humedad que pudiera penetrar en el material pueda salir al exterior como vapor de agua.
- Se ha comprobado la efectividad de los ensayos de alteración, ya que se ha demostrado que producen cambios significativos en las propiedades del material. Llama la atención los grandes cambios en las propiedades del material para pequeñas variaciones de porosidad tras los ensayos.
- También ha podido observarse como la presencia de las capas de pinturas de acabado o protección de yeso o cal, no tiene un efecto significativo sobre la alterabilidad del material. Ya se ha indicado que la pintura de yeso se disuelve y la de cal se desprende en el ensayo de alteración por inmersión, mientras que en el Alcázar se detectan capas de espesor considerable en algunos puntos de muestreo que no dan muestras de desprendimiento.
- La solubilidad del yeso en agua no es muy elevada, pero el deterioro que ésta produce en los elementos de yeso debido a la pérdida de resistencia que experimentan en presencia de humedad, puede explicarse considerando que el agua libre absorbida por el yeso actúa a modo de lubricante entre su estructura cristalina, deshaciendo la trabazón formada por la disposición de los cristales, influyendo en la propagación de la velocidad de ultrasonido.



5.- CONCLUSIONES GENERALES Y NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

5.- CONCLUSIONES GENERALES Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

- Del análisis químico y mineralógico de las muestras se deduce, que todas las yeserías son pastas de yeso, formadas fundamentalmente por sulfato cálcico rehidratado (dihidrato) con más o menos impurezas, sin adición intencionada de cal o arena, descartándose por tanto que pudiera tratarse de morteros de yeso o morteros bastardos de yeso y cal.
- La yesería YPS podría contradecir en cuanto a su composición, lo revelado por Pavón Maldonado en su libro *El Arte Hispanomusulman en su Decoración Floral*, salvo que la muestra tomada y caracterizada no corresponde con la enjuta descrita por él, sino con una obtenida del extremo superior de la arcada (ver ficha), restaurada por Rafael Manzano al encontrar los restos mudéjares de este antiguo cuarto, como queda demostrado por datación con carbono-14, de las fibras vegetales halladas en el interior de la muestra. Así mismo, referente a la muestra YPS2, tomada de la enjuta descrita por Pavón Maldonado, nos inclinamos en pensar que se trata de una restauración, posiblemente realizada igualmente por Rafael manzano en la misma época que la anterior YPS, a la vista de los análisis mineralógicos y datos de impurezas obtenidos. No obstante, se ha tomado una nueva muestra YPS3 de otra zona, cuyos resultados invitan a considerar que sí se trate de una zona original, por lo que una vez concluidos los mismos se podrá determinar y acotar los resultados y extensión de este extremo.
- La ecuación dureza vs porosidad obtenida, tiene como aplicación práctica poder determinar mediante la dureza superficial (ensayo no destructivo) la porosidad de una yesería, propiedad indicativa de la calidad y estado de conservación de la misma. Estos valores de porosidad y dureza, junto a sus densidades aparentes pueden aportar datos sobre la cantidad de agua añadida a la pasta, contribuyendo al planteamiento de hipótesis sobre la técnica de ejecución utilizada.
- Los valores de residuo insoluble hallados, pueden ayudar igualmente a acotar tanto un período de ejecución, como ayudar a determinar la técnica de elaboración seguida.
- La mayor parte de las yeserías no presenta una clara aplicación de capas pictóricas y/o protectoras a lo largo de su historia como podría suponerse. Tan

solo las yeserías YSR, YPY (zona original) e YPS (zona restaurada por Manzano), YPD e YDR, e YCA, YSA e YSF presentan enjalbegados claros de yeso, yeso y anhidrita, de cal y yeso, o de cal como se ha indicado en las conclusiones de caracterización.

- Las capas de policromía determinadas en YSE, hacen suponer la existencia de policromías distintas a las actuales, al menos en cuanto a la combinación de los tres colores (azul, rojo y dorado) observada en los angrelados del arco de acceso a la Sala del techo de Felipe II. Igualmente, el oro revelado por microfluorescencia, puede provenir de la utilización de pan de oro para la decoración de los paramentos.
- En las propiedades estudiadas del material antes y después de los ensayos de alteración acelerada se producen cambios importantes con pequeñas variaciones de porosidad. Éstas propiedades están igualmente relacionadas con la relación A/Y y la aplicación de las capas de pintura no influye en la permeabilidad al vapor de agua.

Como líneas futuras de investigación, habría que señalar:

- La caracterización de yeserías de distinta cronología del Real Alcázar para ampliar las relaciones y adscripciones de sus pastas en cuanto a su mineralogía, composición química, residuo insoluble, componentes orgánicos, propiedades físicas, dureza superficial y análisis de capas externas.
- La realización de un levantamiento planimétrico y fotogramétrico de las yeserías del Patio del Sol, por ser éste uno de los menos conocidos del Alcázar, al objeto de poder determinar y acotar las originales y las restauradas realizadas en sus lienzos.
- Profundizar en el estudio de la influencia de la humedad en los yesos, realizando mediciones in situ de la humedad y durezas de las yeserías (con capa y sin capa) en distintas épocas del año.
- Un trabajo futuro de gran interés consistiría en preparar probetas con dosificaciones distintas de las aquí empleadas, con lo que se tendría un rango

más amplio de porosidades para poder relacionarlas de manera más precisa con las propiedades del material.

- Otro estudio interesante a realizar consistiría en medir la impermeabilización que confieren a los yesos estas y otras capas de recubrimiento, utilizando para ello algunos de los ensayos de medida de las propiedades hídricas: absorción por capilaridad o por inmersión, tiempo de absorción de gotas, etc.
- Otra línea de investigación consistiría en mejorar la forma de aplicación o la composición de las capas de protección, con y sin aditivos orgánicos, para conseguir una mayor adherencia y durabilidad de las mismas.
- Debería investigarse también si las diferencias en las propiedades del material se deben a cambios en la distribución de tamaños de poros, transformación en poros cerrados, o a modificaciones en la estructura microscópica, todo lo cual podría estudiarse realizando las porometrías por inyección de mercurio o estudiando el material por microscopía electrónica de barrido, tanto antes como tras los ensayos de alteración.

6.- BIBLIOGRAFÍA

6.1.- Bibliografía General:

ALEJANDRE SÁNCHEZ, FCO. JAVIER (2002). *Historia, Caracterización y Restauración de Morteros*, Secretariado de Publicaciones Universidad de Sevilla-Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción, Sevilla.

CARRIAZO ARROQUIA, JUAN de M. (1940? [1930]), *El Arte en España: Alcázar de Sevilla*, Edición H. de J. Thomas, Barcelona.

CÓMEZ, RAFAEL, (1996). *El Alcázar del Rey Don Pedro*, Diputación Provincial de Sevilla, Sevilla.

GÁRATE ROJAS, IGNACIO (1999). *Artes de los Yesos. Yeserías y Estucos*, Editorial Munilla-Lería, Madrid.

HERNÁNDEZ NÚÑEZ, JUAN CARLOS Y MORALES, ALFREDO J. (1999). *El Real Alcázar de Sevilla*, Scala Publishers Ltd., (1ª ed.). Imp. En España por Fournier A. Gráficas, S.A., London.

LÓPEZ GUZMÁN, RAFAEL Y OTROS (1995), *La Arquitectura del Islam Occidental*. Lunweg Editores, S.A., Madrid.

LLEÓ CAÑAL, VICENTE (2002). Fotografías MARTÍN GARCÍA, *El Real Alcázar de Sevilla*, Patronato del real Alcázar: Lunweg, D.L.

MANZANO MARTOS, RAFAEL (1995). "Casas y Palacios en la Sevilla almohade. Sus precedentes hispánicos", J. Navarro Palazón (ed.), *Casas y Palacios de al-Ándalus. Siglos XII y XIII*, Berceña-Madrid, pp. 315-352.

MANZANO MARTOS, RAFAEL (1999). *Sevilla Almohade*, Fundación de las tres Culturas del Mediterráneo, Coordinadora Magdalena Valor Piechota, Edita Universidad de Sevilla, Junta de Andalucía y Ayuntamiento de Sevilla, Sevilla-Rabat.

MANZANO MARTOS, RAFAEL (2003). *Los Conservadores Municipales del Real Alcázar*. Sevilla: Patronato del Real Alcázar de Sevilla.

MARÍN FIDALGO, ANA (1992). *Guía de los Reales Alcázares de Sevilla*, Guadalquivir, S.L., Ediciones, Sevilla.

MARÍN FIDALGO, ANA (1998), *El Real Alcázar de Sevilla*, Imp. Estudios Gráficos y Publicado por Aldeasa.

NAVARRO PALAZÓN, JULIO Y JIMÉNEZ CASTILLO, PEDRO (1995). "Casas y palacios de Al-Andalus. Siglos XII y XIII", J. Navarro Palazón (ed.), *Casas y Palacios de Al-Andalus. Siglos XII y XIII*, Lunweg editores, S.A., Madrid-Barcelona.

PACCARD, ANDRÉ (1983). *Le Maroc et l'artisanat traditionnel Islamique dans l'architecture*. Saint-Jorioz : Editions Atelier 74.

PAVÓN MALDONADO, BASILIO (2004). *Tratado de Arquitectura Hispanomusulmana*, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.

RUBIO DOMENE, RAMON FRANCISCO, (2006). *Yaserías de la Alambra: Técnica y Conservación*, Tesis Doctoral (2002), Granada: Rubio Domene, ISBN: 84-932568-2-X, Granada.

SANZ ARAUZ, DAVID (2009). *Análisis del yeso empleado en revestimientos exteriores mediante técnicas geológicas*, Tesis Doctoral, Madrid.

TABALES RODRIGUEZ, MIGUEL ÁNGEL, (2002). *El Alcázar de Sevilla: Primeros estudios sobre estratigrafía y evolución constructiva*, edita: Junta de Andalucía. Consejería de Cultura y Patronato del Real Alcázar, Sevilla.

VILLANUEVA DOMÍNGUEZ, L. y GARCÍA SANTOS, ALFONSO, (2001). *Manual del Yeso*, Asociación Técnica y Empresarial del Yeso ATEDY-DOSSAT 2000, Madrid.

6.2.- Bibliografía Específica:

ADAM, C., (2003). "Atomistic modeling of the hydration of CaSO_4 ", (Journal of Solid State Chemistry, Vol. 174 Issue 1.

AENOR, (1996). UNE 102011. Escayolas para la construcción. Especificaciones.

AENOR, (1997). UNE EN 932-1. Ensayos para determinar las propiedades generales de los áridos. Parte: Métodos de muestreo.

AENOR, (1999). UNE EN 1925. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad.

AENOR, (2006). UNE EN 13279-2. Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo.

AENOR, (2007). Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la densidad real y aparente y de la porosidad abierta y total.

AENOR, (2008). Métodos de ensayo de cementos. Parte 7: Métodos de toma y preparación de muestras de cemento.

AENOR, (2009). Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 1: Definiciones y especificaciones.

ARREDONDO, F., (1969). *Estudio de materiales. II El Yeso*. IETCC/CSIC, Patronato "Juan de la Cierva" de investigación técnica, Madrid, 65 pp.

ASHOK R. (ed.), (1993). *Artists' Pigments. A Handbook of their History and Characteristics, vol.2*, Oxford University Press, Oxford.

BACEIREDO RODRIGUEZ, ISABEL, LÓPEZ MADROÑERO, MAURICIO J., (2004). "Restauración del hueco almohade del patio del Yeso", edita: Apuntes del Alcázar de Sevilla, Sevilla.

BARRIAC, P. (1973). *Tonind. Ztg.*, Vol. 97, (Nr.6), "Mesure de la dureté des plâtres en laboratoire et sur chantier", pp. 146-151

BASSET, H. Y TERRASSE, H. (1926). "Sanctuaires et forteresses almohades. V. La chaire de la Kotobiya", *Hespéris*, 6, pp. 168-204

BLOOM, J. M. (1992). "Minbar from the Kutubiyya Mosque, Marrakesh. In *Al- Andalus, The Art of Islamic Spain*". New York: The Metropolitan Museum of Art, pp. 362-367.

CAPARRÓS REDONDO LUIS M., GÍMENEZ-IBÁÑEZ RAQUEL, VIVÓ-GARCÍA CRISTINA, (2002). *La Cal y el Yeso, Revestimientos continuos en la arquitectura tradicional valenciana*, C.O.A.A.T. de Valencia, Federico Doménech, S.A. Valencia.

CHANG, L., HOWIE, R.A. y ZUSSMAN, J., (1996). *Rock forming minerals Volumen 5B: Sulphates, Carbonates, Phosphates and Halites*. Harlow: Longman.

C. VIELBA CUERPO, F. HERNÁNDEZ OLIVARES, (2002). "Ensayos de caracterización del comportamiento frente al agua de la piedra natural", *Materiales de Construcción*, Vol. 52, nº 267, julio/agosto/septiembre.

DEL RÍO MERINO, MERCEDES, (2004). "Aplicaciones del yeso y la escayola en la edificación. Nuevas aplicaciones", *Informes de la Construcción*, Vol. 56 nº 493, Septiembre-Octubre, pp. 53-60.

DIEZ REYES, M. CARMEN, (2004). "En torno al yeso", *Informes de la Construcción*, Vol. 56, nº 493, pp. 13-18, septiembre-octubre.

DORREGO, F., LUXÁN, P., Y SOTOLONGO, R., (1998). *Los Trabadillos: Origen, utilización y técnicas de preparación*. Actas del Segundo Congreso Nacional de Historia de la Construcción, eds. Fernando Bores Gamundi, José Fernández Salas y otros, publicado por Reverté.

E. LEVI PROVENÇAL Y GARCÍA GÓMEZ, EMILIO, (1998). *Sevilla a comienzos del siglo XII, El Tratado de Ibn-Abdún*. Reedición Facsímil de la Fundación Cultural del C.O.A.A.T. de Sevilla, Sevilla (Lévi Provençal, descubrió el manuscrito original en bibliotecas privadas de Salé y Mequinez y lo publicó en versión francesa con el título: "Séville musulmane au début du XII siècle: Le traité d'Ibn-Abdun")

GARCÍA MUÑIZ, LUÍS, (1989). "El Yeso, origen, propiedades y tipos", Boletín auriense, Tomo 18-19, pp. 435-461, Museo Arqueológico provincial de Orense.

GARCÍA SANTOS, A., (1988). "Comportamiento mecánico del yeso reforzado con polímeros sintéticos". Informes de la Construcción del ITECC/CSIC, Vol. 40, nº 397, pp. 67-89.

GESTOSO Y PÉREZ, JOSÉ, (2007). *Sevilla: Historia y descripción de sus principales Monumentos Religiosos y Civiles*. Reedición Facsímil de Extramuros Edición S.L. Sevilla.

GESTOSO Y PÉREZ, JOSÉ, (1926). *Guía artística de Sevilla : historia y descripción de sus principales monumentos religiosos y civiles, y noticia de las preciosidades artístico-arqueológicas que en ellos se conservan...* Sevilla Gestoso y Pérez, José.

GOMÁ, F., (1979). *El cemento portland y otros aglomerantes*, editores Técnicos asociados, Barcelona.

GÓMEZ GONZÁLEZ, M^a LUISA, (1994). "Estudio Científico de los materiales y de la Técnica. Examen microscópico y Análisis Químico", en: Gómez Espinosa, Teresa et al. *La Obra en Yeso Policromado de los Corral de Villalpando*, edita el Ministerio de Cultura. Dirección General de Bellas Artes y Archivos. Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Madrid (1^a edición), pp. 85 - 98

GONZÁLEZ RAMÍREZ, M^a ISABEL, (1998). *El Trazado Geométrico en la ornamentación Mudéjar del Alcázar de Sevilla*, Tesis Doctoral, Director D. Alberto Donaire Rodríguez, Sevilla.

GRACIANI GARCÍA, AMPARO et al. (2002). *La Técnica de la Arquitectura Medieval*, Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, Sevilla.

GUERRERO LOVILLO, JOSÉ, (1995). "Los maestros yeseros sevillanos del siglo XVI", Archivo español de arte, 28:109.

HUARTE CAMBRA, ROSARIO, (2001). "Fragmentos de Yeserías relacionadas con la Aljama Almohade de Sevilla". Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, Revista laboratorio de Arte 14, Sevilla, Págs. 181-196.

JIMÉNEZ, ALFONSO, (1983). "Las yeserías de la Giralda", *Andalucía Islámica. Textos y Estudios*, II-III, 1981-1982, *Anejo de Cuadernos de Historia del Islam*, Granada, pp. 195-209.

LAVADO PARADINAS, PEDRO JOSÉ, (1984). "Materiales, técnicas artísticas y sistema de trabajo: el yeso", Actas del III Simposio internacional de mudejarismo, Teruel, pp. 435-452

LÓPEZ BORGES, VÍCTOR HUGO, BURGIO, L. y CLARK, R.J.H. (2005). "Documentación y autenticación de yeserías nazaríes a través del tratamiento de conservación y el análisis científico". *Preprints GE-IIC conference: 'Investigación en*

conservación y restauración'. Spain. November pp. 109-117. Museu Nacional d'Art de Catalunya.

LÓPEZ GUZMÁN, RAFAEL et al, (1995). *La Arquitectura del Islam Occidental*, de la edición: Sierra Nevada- El legado Andalusí-Lundwerg Editores, S.A., Madrid.

MARTÍN JIMENEZ, CARLOS, (2004). "Restauración de Yeserías", Informes de la Construcción, Vol. 56, Nº 493, pp. 39-46.

MARTÍN DE HIJAS, CARMEN, DEL EGIDO, MARIAN Y GONZÁLEZ, ELENA, (2008). "Análisis de tres privilegios del Archivo Municipal de Toledo", Revista Archivo Secreto nº 4, Excmo. Ayuntamiento de Toledo, pp. 290-299.

MATTEINI, MAURO, MOLES, ARCANGELO, (2001). *La Química en la restauración (La Chimica nel restauro. I materiali dell'arte pittorica)*, Nardini editore 1989, de la edición castellana Ed. Nerea, S.A., 2001, ISBN: 978-84-89569-54-6, San Sebastián.

MEDIANERO HERNÁNDEZ, JOSÉ MARÍA, (1993). "Aportaciones documentales sobre la técnica de la pintura hispalense a fines de la Edad Media", Laboratorio de Arte: Revista del Departamento de Historia del Arte Nº 6, Sevilla.

MÉRIDA ÁLVAREZ, M^a DOLORES, (2000). "Construcción y restauración del Real Alcázar de Sevilla en el período isabelino (1843-1868)", Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Sevilla, 26-28 octubre 2000, eds. A. Graciani, S. Huerta, E. Rabasa, M. Tabales, Madrid: I. Juan de Herrera, SEdHC, U. Sevilla, Junta de Andalucía, COAAT de Granada, CEHOPU.

MICHELL, G.; GRUBE, E. J.; DICKIE, J.; GRABAR, O.; SIMS, E.; LEWCOCK, R.; JONES, D.; PETHERBRIDGE, G.T. (1985). *La Arquitectura del Mundo Islámico*, Alianza Editorial, S.A., Madrid, Cap.4, pp. 288.

M.L. OULD CHAMEKH, M. TAIBI Y OTROS, (1998). "Caracterización físicoquímica del yeso natural de Mauritania". Revista de Materiales de Construcción, Vol. 48, nº 250, Madrid.

MONTOTO, SANTIAGO, (1951). *Los Monumentos Cardinales de España: La Catedral y el Alcázar de Sevilla*, edit. Plus Ultra, Madrid (1ª edición 1948)

MORALES, ALFREDO J. Y SERRERA JUAN MIGUEL, (1999). "Obras en los Reales Alcázares de Sevilla en tiempo de los Reyes Católicos", Laboratorio de Arte 12, pp. 69-77.

MORENTE DEL MONTE, M. (1996). *El Patrimonio Cultural. Una propuesta alternativa al concepto actual de patrimonio histórico*. Tesis Doctoral. Colección Microfichas. Universidad de Málaga.

MUÑOZ BOLÍVAR, J.A. (2007), *Evaluación de las características mecánicas de materiales pétreos por medio de ensayos no destructivos. Aplicación al estudio del estado*

de conservación de la Fuente de los Leones de la Alhambra. Proyecto Fin de Carrera Ingeniero Químico. Escuela Técnica Superior de Ingenieros, Univ. Sevilla.

NAVARROPALAZÓN, JULIO, (1985). "El despoblado islámico de Siyasa (Cieza)", *Revista de Arqueología*, 53, pp. 30-43.

NAVARRO PALAZÓN, JULIO, (1991). "Un ejemplo de vivienda urbana andalusí: la casa nº 6 de Siyasa", *Archeologie Islamique*, II, pp. 97-125.

NAVARRO PALAZÓN, JULIO, (1995). "Un palacio protonazarí en la Murcia del siglo XIII: Al-Qasr al-Sagir", J. Navarro Palazón (ed.), *Casas y Palacios de Al-Andalus. Siglos XII y XIII*, Lunweg editores Madrid-Barcelona, pp.177-205.

NAVARRO PALAZÓN, JULIO Y JIMÉNEZ CASTILLO, PEDRO, (1995). "La decoración protonazarí en la arquitectura doméstica: la casa de Onda", J. Navarro Palazón (ed.), *Casas y Palacios de Al-Andalus. Siglos XII y XIII*, Lunweg editores, S.A., Madrid-Barcelona, pp.177-205.

NAVARRO PALAZÓN, JULIO Y JIMÉNEZ CASTILLO, PEDRO, (1995). "La decoración almohade en la arquitectura doméstica: la casa nº 10 de Siyasa", J. Navarro Palazón (ed.), *Casas y Palacios de Al-andalus.*, Lunweg editores, S.A., Madrid-Barcelona.

NAVARRO PALAZÓN, JULIO Y JIMÉNEZ CASTILLO, PEDRO, (1996). "Estudio de once casas en Siyasa", *Memorias de Arqueología*, 5, 1990, pp. 525-595.

NAVARRO PALAZÓN, JULIO Y JIMÉNEZ CASTILLO, PEDRO, (2005). "La Yesería en época Almohade", *Estudios Árabes e Islámicos: Monografías.11*, Patrice Cressier, Maribel Fierro y Luís Molina editores, CSIC, Madrid.

NOVO DE MIGUEL, L., (1970). *El yeso en la construcción*. Ediciones CEAC, Barcelona, 160 pp.

OCAÑA JIMÉNEZ, M., (1984). "El origen de la yesería andalusí, a juzgar por un hallazgo olvidado", *Boletín de la Real academia de Córdoba, de Ciencias, Bellas letras y Nobles artes*, 106, año LV, pp. 139-147.

OLIVA MUÑOZ, PABLO; JIMÉNEZ SANCHO, ÁLVARO Y TABALES-RODRÍGUEZ, M. ÁNGEL, (2003). "Primera Fase de estudios arqueológicos en el real monasterio de santa clara de Sevilla", *Anuario Arqueológico de Andalucía 2003*, pp. 336-351, Dirección General de Bienes Culturales. Junta de Andalucía, Sevilla.

ORTÍ, F., ROSELL, L. y SALVANY, J.M., (1992). Depósitos evaporíticos en España: aspectos geológicos y recursos. In: J. GARCÍA GUINEA y J. MARTÍNEZ FRÍAS, eds, *Recursos minerales de España*. pp. 1171-1209.

PAVÓN MALDONADO, BASILIO, (1990). *El Arte Hispanomusulmán en su Decoración Floral*, Mateu Cromo, S.A. Pinto, 2ª edición aumentada, M.A.E., Agencia Española de

Cooperación Internacional y Dirección General de Bellas Artes y Archivos del Ministerio de Cultura, Madrid, (1ª edición, Madrid, 1981)

PAVON MALDONADO, BASILIO., (1988). *Arte Toledano: islámico y mudéjar*. Secretaría de Cooperación Internacional y para Iberoamérica. D.G. de Relaciones Culturales. Instituto Hispano- Árabe de Cultura. Madrid, 1ª edición 1973.

PEDROLA, ANTONI, (2008). *Materiales, Procedimientos y Técnicas pictóricas*, Ed. Ariel, S.A., ISBN: 978-84-344-6726-2, Barcelona, [1998], 2004 (3ª edición ampliada), 2008 (5ª impresión).

PRIMO YÚFERA, EDUARDO, (1994). *Química Orgánica Básica y Aplicada*, Ed. Reverté.

RUBIO DOMENE, RAMON FRANCISCO, (2002). "Fijación de paños y yeserías en el periodo nazarí de la Alhambra de Granada". Rubio Domene, R. F. [ed.], ISBN: 84-932568-1-1. Granada 2002

RUIZ-ROMERO, MANUEL; YBARRA-HIDALGO, EDUARDO, MANZANO MARTOS, RAFAEL Y OTROS, (2003). *Los Conservadores Municipales del Real Alcázar de Sevilla*, Patronato del Real Alcázar de Sevilla, Tecnographic, S.L., Sevilla.

SANZ ARAUZ, DAVID Y VILLANUEVA DOMINGUEZ, LUIS, (2004). "Albarracín y el Yeso rojo", *Informes de la Construcción*, Vol. 56, Nº 493, pp. 47-52.

SAUVAGET, J., (1949). "Sur le minbar de la Kutubiya de Marrakech", *Hespéris*, 36, pp. 313-319

TOAJAS ROGER, M. A., (1989). *Diego López de Arenas. Carpintero, Alarife y Tratadista en la Sevilla del siglo XVII*, Diputación de Sevilla.

TORRES BALBÁS, L., (1955). "Precedentes de la decoración mural hispanomusulmana" en *Crónica arqueológica de la España musulmana XXXVII*. 1955. Obra dispersa 1, recopilada por Manuel Casamar. Instituto de España.

VIELVA CUERPO, C., HERNÁNDEZ OLIVARES, F., (2002). "Ensayos de caracterización del comportamiento frente al agua de la piedra natural", *Materiales de Construcción*, Vol. 52, Nº 267.

VILLANUEVA DOMINGUEZ, L. de, (1996). "Yeserías españolas: propuesta de tipología histórica". Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Cádiz, Actas del Congreso, eds. A. de las Casas, S. Huerta, E. Rabasa, Madrid: I. Juan de Herrera, CEHOPU, pp. 1003-1013.

VILLANUEVA DOMINGUEZ, L. de, (2004). "Evolución histórica de la construcción con yeso". *Informes de la Construcción*, Vol. 56, nº 493, septiembre-octubre, págs. 5-12.

VILLANUEVA DOMINGUEZ, L. de, (2008). “Efecto de los recubrimientos de pintura sobre la resistividad al vapor en yesos”, *Materiales de construcción*, ISSN 0465-2746, Vol. 58, Nº. 292, Oct.-Dic., pp. 101-114.

VILLEGAS SÁNCHEZ, ROSARIO, (2000). “Programa de normalización de estudios previos y control de calidad en las intervenciones: Ensayos de alteración de materiales pétreos”, *PH Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 31, pp. 78-88.

VILLEGAS SÁNCHEZ, ROSARIO, (2003). “Metodología para la evaluación y estudio previo de tratamientos”, en *Metodología de diagnóstico y evaluación de tratamientos para la conservación de los Edificios Históricos*, Consejería de Cultura. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, pp. 194-207.

WEISSERMEL, K; ARPE, H.J., (2003). *Industrial Organic Chemistry*, Wile-VCH.

WIRSCHING, FRANZ, (1996 [1985]). *Sulfato de Calcio. Resumen de la Ullmann Encyclopedia of Industrial Chemistry, Vol. A 4 (5ª Edición)*, VCH Verlagsgesellschaft mbH D-69451 Weinheim, Germany, Traducido y editado por Atedy Nov.

4.3.- Bibliografía complementaria.

ALMAGRO, A. y ARCE, I., (1996). “El alcázar omeya de Amman, crisol de técnicas constructivas”, A. DE LAS CASAS, S. HUERTA y E. RABASA, eds. In: *Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. 19-21 septiembre, I. Juan de Herrera; CEHOPU pp. 25-30.

ALVAREZ GALINDO, J.I.; MARTÍN PÉREZ, A.; GARCIA CASADO, P.J.; (1995). “Historia de los morteros”, *Boletín Informativo del Instituto Andaluz del patrimonio Histórico*, nº 13, Consejería de Cultura de Andalucía, Sevilla, pp. 52-59.

BAUDILLARD, J. (1993). *Cultura y Simulacro*. Barcelona.

CANO ÁVILA, PEDRO Y ALY TAWFIK MOHAMED ESSAWI, (2004). “Estudio Epigráfico-Histórico de las Inscripciones árabes de los portales y ventanas del Patio de las Doncellas del Palacio de Pedro I”, *Apuntes del Alcázar de Sevilla*, edición digital, Patronato del Real Alcázar de Sevilla, Sevilla, mayo.

C.S. DE GALDEANO, M. ORTEGA, J. RODRIGUEZ y N. VELILLA, (1984). “Mineralizaciones de celestina en olistostromas de la depresión del Guadalquivir”, *Boletín Geológico y Minero. T. XCV-III*, pp. 268-275.

DOERNER, MAX (1998). *Los materiales de pintura y su empleo en el arte*, editorial Reverté, S.A. 6ª Edición, Barcelona, octubre de 2005

FERNÁNDEZ CARO, JOSÉ JUAN, RAVÉ PRIETO, JUAN LUIS Y RESPALDIZA LAMA, PEDRO J., (1999). *Gabinete pedagógico de Bellas Artes de Sevilla, Real Alcázar de*

Sevilla, edita Junta de Andalucía, Consejería de Educación y Ciencia y Consejería de Cultura, y Fundación El Monte, Sevilla.

FORD, RICHARD., (1980). *Manual para viajeros por Andalucía y lectores en casa*. Ediciones Turner. Madrid.

GARCÍA GÓMEZ, E., (1988). *Foco de antigua luz sobre la Alhambra desde un texto de Ibn al-Jatib en 1362*, Madrid.

GARCÍA BUENO, ANA, MEDINA FLOREZ, VICTOR J. y GONZÁLEZ SEGURA, ALICIA, (2006). "La policromía de los fragmentos de yeso almacenados en los depósitos del Mueso de la Alhambra", 16th International Meeting on Heritage Conservation.

GARCÍA MERCADAL, J., (1952). *Viajes de extranjeros por España y Portugal*, Madrid.

GESTOSO Y PÉREZ, JOSÉ, (2004). *Curiosidades Antiguas Sevillanas*. Reedición Facsímil de la Fundación Cultural del C.O.A.A.T. de Sevilla, 1ª Edición, 1ª Impresión. Sevilla.

GRABAR, OLEG, (1981). (traducción de Pilar Salsó) *La Formación del Arte Islámico*, ed. Cátedra S.A., Madrid, 2ª edición, (1ª edición 1925)

JIMÉNEZ MARTÍN, ALFONSO, (1983). "Andalucía Islámica: Las yeserías de la Giralda". *Andalucía Islámica, Textos y Estudios II-III (1981-1982)*. Págs. 195-206. Granada.

MARÍN FIDALGO, ANA, (2006). *El Real Alcázar de Sevilla bajo los Borbones; el reinado de Felipe V (1700-1746)*, Guadalquivir, Sevilla.

MICHAEL W. DONG, (2006). *Modern HPLC for Practicing scientists*, Wiley.

NAVARRO PALAZÓN, JULIO Y JIMÉNEZ CASTILLO, PEDRO, (1995). "Arquitectura mardanisi", *La Arquitectura del Islam occidental*, Barcelona, pp. 117-137.

ORTEGA ANDRADE, F., (1994). *Historia de la Construcción. Libro Primero: Mesopotamia, Egipto, Grecia y Etruria*, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, pp. 108.

PAREJA LÓPEZ, ENRIQUE Y OTROS, (1988). *Historia del arte en Andalucía. El arte en el sur de AL-Andalus*. Ediciones Gever, S.L. Sevilla.

PÉREZ ESCOLANO, VICTOR, (2003). "Plan y proyecto para la Ciudad y la Arqueología. Un esbozo de ideas" del Curso sobre *Nuevas Tendencias en la Identificación y Conservación del Patrimonio*, Coord. Javier Rivera Blanco, Secretariado de Publicaciones e Intercambio editorial, Universidad de Valladolid, Valladolid.

POLAINO ORTEGA, LORENZO, (2001). *Juan de Mata Carriazo y Arroquia, Perfiles de un Centenario (1899-1999)*, Juan Luís Carriazo Rubio (ed.), Apéndice "Don Juan de Mata

examinado”, Universidad de Sevilla Secretariado de Publicaciones, Imp. Grafitrés, S.L. Utrera. Sevilla, pp. 165.

RIBA, O. y MACAU, F., (1962). “Situación, características y extensión de los terrenos yesíferos en España”, I Coloquio internacional sobre las obras públicas en los terrenos yesíferos.

SANZ, JUAN C., GALLEGO, ROSA, (2001). *Diccionario Akal del color*, ediciones Akal, S.A., Madrid

SINGH, M. y MIDDENDORF, B., (2007). “Calcium sulphate hemihydrate hydration leading to gypsum crystallization”. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, Vol. 53, pp. 57-77.

SKOULIKIDIS, T. (1995): “The application and the limits of the intensification of the conditions by artificial weathering of stones”. Int. Coll. Methods of evaluating products for the conservation of porous building materials in monuments. Roma 19/21 Junio, 461-473.

TABALES RODRÍGUEZ, M. A., (2000). “Investigaciones arqueológicas en el Alcázar de Sevilla –apuntes sobre evolución constructiva y espacial-”. Apuntes del Alcázar de Sevilla, nº 1. Patronato del Real Alcázar de Sevilla. Sevilla, pp. 12-45.

TABALES RODRÍGUEZ, MIGUEL ÁNGEL, (2003). “Investigaciones Arqueológicas en el Alcázar de Sevilla. Campaña 2000”. Anuario Arqueológico de Andalucía 2000. Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía, Pag. 45-69. ISBN: 84-8266-330-5, Sevilla, España.

TABALES RODRÍGUEZ, M.A., OLIVA MUÑOZ, PABLO, JIMÉNEZ SANCHO, ÁLVARO, (2006). Primera Fase de Estudios Arqueológicos en el Real Monasterio de Santa Clara de Sevilla. Anuario Arqueológico de Andalucía, 2003. Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía. Vol. 1. Pag. 336-351. ISBN: 84-8266-614-2, Sevilla, España.

TABALES RODRÍGUEZ, M.A., OLIVA MUÑOZ, PABLO, (2007). “Los Restos Islámicos y el Palacio de Don Fadrique. Real Monasterio de Santa Clara 2”. Sevilla. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Sevilla, pp. 12-21.

TERRASSE, HENRY, (1932). *L’art hispano-mauresque des origines au XIII siècle*, Paris.

TERRASSE, HENRY, (1961). “Art almorávide et art almohade”, *Al-andalus*, 26/2, pp. 435-447.

TORRES BALBÁS, LEOPOLDO, (1949). *Arte almohade, Arte Nazarí, Arte Mudéjar*, IV *Ars Hispaniae*, Plus Ultra, Madrid.

TORRES BALBÁS, LEOPOLDO, (1955). *Arte almorávide y almohade*, Instituto de estudios africanos, Instituto Diego de Velásquez, Madrid.

TRAYER Y TOMÁS, VICENTE, (1965). *El Marqués de la Vega-Inclan, Comisario regio de Turismo y Cultura Artística Popular*, Fundaciones Vega-Inclan, Talleres Gráficos Hijos de F. Armengol, Castellón.

TURRIANO, J., (1983). *Los ventiún libros de los ingenieros y de las máquinas*. Facsímil del original de S. XVI edn. Madrid.

VALLE FERNÁNDEZ, TERESA Y RESPALDIZA LAMA, PEDRO J. (2000). "La pintura Mural Almohade en el Palacio del Yeso", Apuntes del Alcázar de Sevilla, edición digital, Patronato del Real Alcázar de Sevilla, Sevilla, mayo.

VILLANUEVA, L. de, (1988). *El yeso: material de construcción primitivo y actual*. Boletín Yesocentro nº 2, junio.

INDICE DE FIGURAS

- Fig.1. Arco carpanel de la capilla de la Flagelación. (Lleó 1998, *La Casa de Pilatos*, Madrid, editorial electa)
- Fig.2. Sala de la Justicia en 1940 (Carriazo-Arroquia 1940, *El Arte en España: Alcázar de Sevilla*, Barcelona, edición H. de J. Thomas)
- Fig.3 y 4. Murallas del Alcázar (Lleó 2002, *El Real Alcázar de Sevilla*, Madrid, patronato del Real Alcázar de Sevilla-Lunwerg editores)
- Fig. 5. Excavación arqueológica llevada a cabo en el Patio de la Montería del Real Alcázar durante la campaña 2002 (Imagen cedida por D. Miguel Ángel Tabales Rodríguez)
- Fig. 6. Imagen tomada por el grupo de investigación TEP198 durante los trabajos de caracterización de los tapias, morteros de fábrica, ladrillos y yeserías de los muros del convento de santa clara (Sevilla), realizados en el año 2006
- Fig. 7. Imagen tomada del artículo “Restauración del hueco almohade del Patio del Yeso” de la revista Apuntes del Alcázar de Baceiredo y López, publicado en abril de 2004
- Fig. 8. Imagen tomada durante los trabajos de investigación para esta Tesis
- Fig. 9. Imagen tomada del libro de Paccard, *Le Maroc et l’artisanat traditionnel Islamique dans l’architecture* de 1983
- Fig.10 Imagen tomada durante los trabajos de investigación para esta Tesis
- Fig. 11, 12, 13 y 14. Imágenes tomadas de la Tesis Doctoral de David Sanz Arauz
- Fig. 15. Imagen tomada del libro de D. Fco. Javier Alejandro, *Historia, Caracterización y Restauración de morteros* (2002)
- Fig. 16 y 17. Imágenes tomadas de wikipedia
- Fig. 18. Imagen tomada de la Tesis Doctoral de D. David Sanz Arauz
- Fig. 19 Imagen de los apuntes de la asignatura de Materiales I
- Fig. 20. Imagen tomada durante la visita a la fábrica de Cementos Valderrivas en Alcalá de Guadaira (Sevilla)
- Fig. 21 y 22. Imágenes tomadas de Arredondo, F., *Estudio de materiales. II El Yeso*
- Fig. 23. Tomada de Arredondo y Gomá
- Fig. 24. Tomada de Arredondo y Gomá
- Fig. 25, 26, 27 y 28. Imágenes tomadas de la página (<http://detodaslasartes.wordpress.com>)
- Fig. 29. Imagen tomada de la Fototeca de la Universidad de Sevilla
- Fig. 30, 31, 32, 33 y 34. Imágenes tomadas durante los trabajos de investigación para esta Tesis
- Fig. 35. Imagen tomada de Sevilla Daily Photo realizada por Juan Manuel Jiménez García
- Fig. 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43 y 44. Imágenes tomadas durante los trabajos de investigación para esta Tesis
- Fig. 45. Imagen tomada de (<http://www.arteguias.com/almohade.htm>)
- Fig. 46, 47, 48, 49, 50, 51 y 52. Imágenes tomadas durante los trabajos de investigación para esta Tesis
- Fig. 53. Imagen tomada del libro *el Arte Hispanomusulman en su decoración floral* de Basilio Pavón Maldonado
- Fig. 54. Imagen tomada durante los trabajos de investigación para esta Tesis

Fig. 55. Guía artística de Sevilla de José Gestoso

Fig. 56. Imagen de archivo del ABC de Sevilla

Fig. 57, 58, 59 y 60. Imágenes tomadas durante los trabajos de investigación para esta Tesis

Fig. 61, 62 y 63. Planos cedidos por el patronato del Real Alcázar y realizados por D. Antonio Almagro Gorbea

Fig. 64. Imagen tomada de la página web del CITIUS,
(<http://investigacion.us.es/scisi/sgi/servicios/area-de-rayosx/equipamiento>)

Fig. 65, 66 y 67. Imágenes tomadas durante los trabajos de investigación para esta Tesis

Fig. 68, 69 y 70. Imágenes tomadas de la página web del CITIUS
(<http://investigacion.us.es/scisi/sgi/servicios/area-de-rayosx/equipamiento>)

Fig. 71. Imagen tomada durante los trabajos de investigación para esta Tesis

Fig. 72. Imagen tomada en los laboratorios de la E.T.S.I. de Sevilla

Fig. 73. Imagen tomada durante los trabajos de investigación para esta Tesis

Fig. 74. Imagen tomada de la web del CNA de Sevilla (<http://centro.us.es/cna/AMS.htm>)

Fig. 75 y 76. Imágenes tomadas durante los trabajos de investigación para esta Tesis

Fig. 77. Imagen tomada en el CITIUS durante los trabajos de investigación para esta Tesis

Fig. 78. Difractogramas más representativos (programa EVA) montados con Origin Lab 8

Fig. 79 y 80. Imágenes BSE (SEM) y mapping tomadas del microscopio electrónico del CITIUS

Fig. 81. Imagen de la recta de regresión obtenida de las densidades aparentes y las relaciones w/y dadas por Villanueva y dibujada en Origin Lab 8

Fig. 82, 83, 84 y 85. Imágenes tomadas durante los trabajos de investigación para esta Tesis

Fig. 86, 87, 88 y 89. Gráficas de porosimetrías realizadas en Origin Lab 8

Fig. 90. Imagen de la recta de regresión obtenida de las porosidades y durezas de las yeserías, realizadas en Origin Lab 8

Fig. 91. Imagen tomada durante los trabajos de investigación para esta Tesis

Fig. 92, 93, 94 y 95. Imágenes de las secciones de las yeserías tomadas del microscopio óptico del CITIUS

Fig. 96, 97 y 98. Imágenes de las secciones de yeserías en BSE (SEM) tomadas del microscopio electrónico del CITIUS

Fig. 99, 100, 101 y 102. Imágenes de secciones de yeserías tomadas del equipo de microfluorescencia del CITIUS

Fig. 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114 y 115. Imágenes tomadas durante los trabajos de investigación para esta Tesis

Fig. 116. Gráfica de los valores de porosidad del E35 durante ensayos de alteración

Fig. 117. Gráfica de los valores de porosidad del B1 durante ensayos de alteración

Fig. 118. Gráfica de los valores de la resistencia a compresión del E35

Fig. 119. Gráfica de los valores de la resistencia a compresión del B1

Fig. 120. Gráfica de los valores de dueza del E35

Fig. 121. Gráfica de los valores de dueza del B1

Fig. 122, 123 y 124. Gráficas del coeficiente de permeabilidad de la escayola 0,6 pintada con yeso

Fig. 125, 126 y 127. Gráficas de las velocidades de ultrasonido frente a la humedad, de la escayola 0,6 sin tratamiento, con pintura de yeso y encalada

128, 129 y 130. Gráficas de las velocidades de ultrasonido frente a la humedad, de la escayola 0,8 sin tratamiento, con pintura de yeso y encalada

INVENTARIO DE YESERÍAS EN FICHAS

YESERÍAS DE TRADICIÓN ISLÁMICA DEL REAL ALCÁZAR DE SEVILLA (YPM1)

AUTORES:

F. Javier Blasco / F. Javier Alejandre

DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA:

YPM1 (capa de terminación)

REGISTRO ARQUEOLÓGICO:

PM SEG. 551.287-288

PROCEDENCIA:

Patio de la Montería.

ORGANISMO QUE APORTA LA MUESTRA:

Patronato Real Alcázar de Sevilla.

DATACIÓN:

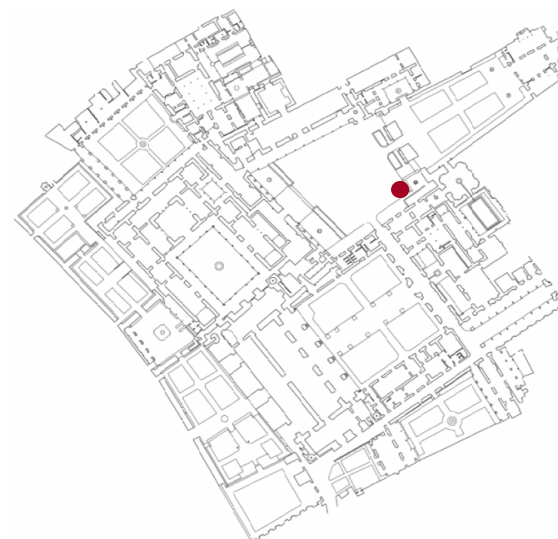
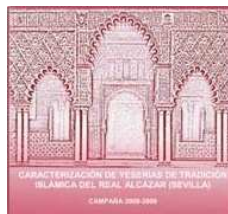
Siglo XII-XIII (Catalogación arqueológica)

MATERIAL DE LA MASA DE LA MUESTRA:

Yeso dihidrato de media pureza (45% - 40% de SO₃).

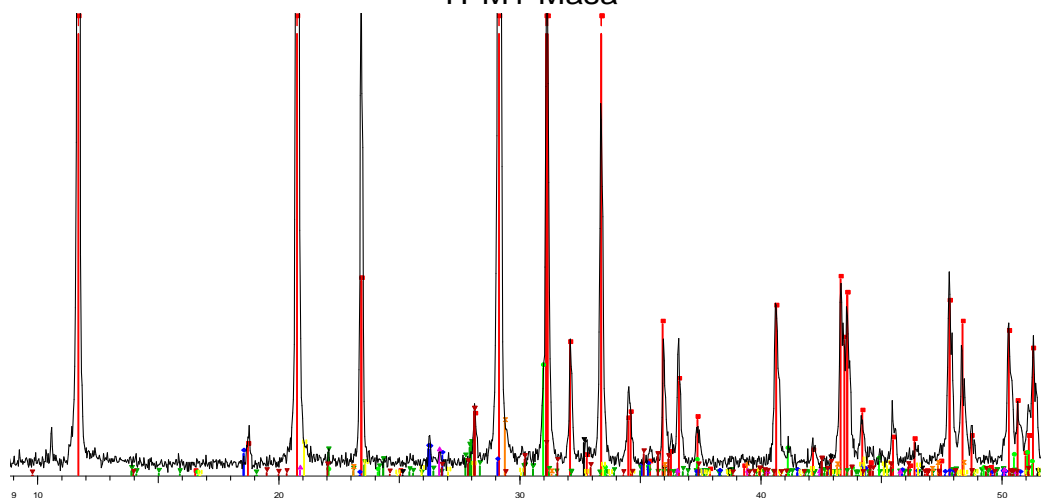
MATERIAL DE LA CAPA DE LA MUESTRA:

Superficie deteriorada



COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)				COMPOSICIÓN MINERALÓGICA		PROPIEDADES DE LA MUESTRA	
SiO ₂	1.31	K ₂ O	0.08	Yeso dihidrato CaSO ₄ · 2H ₂ O	Muy abundante	Densidad Real Aprox.(gr/cm ³)	2.35
Al ₂ O ₃	0.28	SrO	0.18	Anhidrita Ca SO ₄	No detectado	Densidad Aparente (gr/cm ³)	1.27
Fe ₂ O ₃	0.23	P ₂ O ₅	0.02	Aragonito CaCO ₃	No detectado	Porosidad Abierta (%)	45.8
MnO	0.01	SO ₃	44.25	Calcita CaCO ₃	Indicios	Dureza (shore)	77.0
MgO	1.05	PC	20.92	Dolomita Ca Mg (CO ₃) ₂	Indicios	Impurezas (%)	4.28
CaO	32.01	Total	100.20	Cuarzo SiO ₂	Indicios		
Na ₂ O	0.02			Magnesita MgCO ₃	Indicios		

YPM1-Masa



YPM1(15-7) - File: YPM1(15-7).raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 69.
Operations: Import

- 01-074-1433 (C) - Gypsum - Ca(SO₄)(H₂O)2 - I/Ic PDF 1.7 - S-Q 79.0 %
- 01-087-0045 (C) - Enstatite (Cu-bearing), syn - Mg(Mg_{0.56}Cu_{0.44})(Si₂O₆) - I/Ic PD
- 01-083-1466 (C) - Albite low - Na_{0.986}(Al_{1.005}Si_{2.995}O₈) - I/Ic PDF 0.6 - S-Q 4.0
- 01-089-5862 (C) - Dolomite - CaMg(CO₃)2 - I/Ic PDF 2.8 - S-Q 3.2 %
- 01-080-0545 (C) - Kieserite - Mg(SO₄)(H₂O) - I/Ic PDF 1.1 - S-Q 2.1 %
- 01-080-0042 (C) - Magnesite - Mg(CO₃) - I/Ic PDF 1.8 - S-Q 1.5 %
- 01-086-2339 (C) - Calcite - Ca(CO₃) - I/Ic PDF 3.1 - S-Q 1.4 %
- 01-079-1910 (C) - Quartz - SiO₂ - I/Ic PDF 3.1 - S-Q 0.6 %
- 01-083-1719 (A) - Celestine - SrSO₄ - I/Ic PDF 3.3 - S-Q 0.8 %



LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA



LUGAR DE EXTRACCIÓN DE LA MUESTRA



YESERÍAS DE TRADICIÓN ISLÁMICA DEL REAL ALCÁZAR DE SEVILLA (YPM2)

AUTORES:

F. Javier Blasco / F. Javier Alejandro

DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA:

YPM2 (Capa base de yeso negro)

REGISTRO ARQUEOLÓGICO:

PM SEG. 551.287-288

PROCEDENCIA:

Patio de la Montería.

ORGANISMO QUE APORTA LA MUESTRA:

Patronato Real Alcázar de Sevilla.

DATACIÓN:

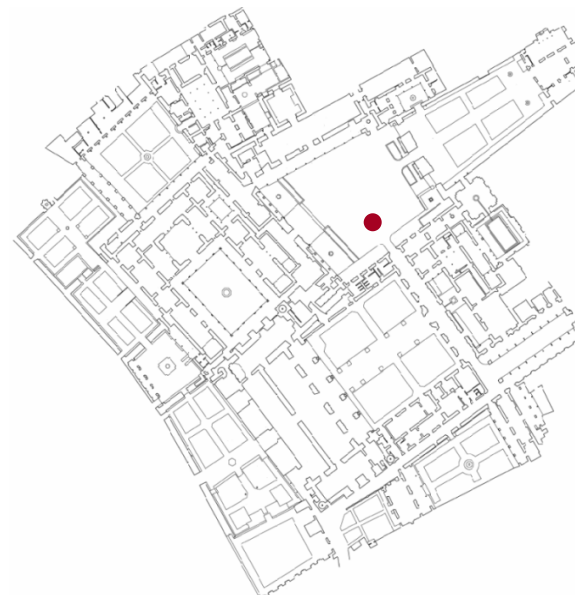
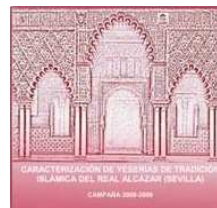
Siglo XII-XIII (Catalogación arqueológica)

MATERIAL DE LA MASA DE LA MUESTRA:

Yeso dihidrato de media pureza (45% - 40% de SO_3).

MATERIAL DE LA CAPA DE LA MUESTRA:

Se trata de masa interior

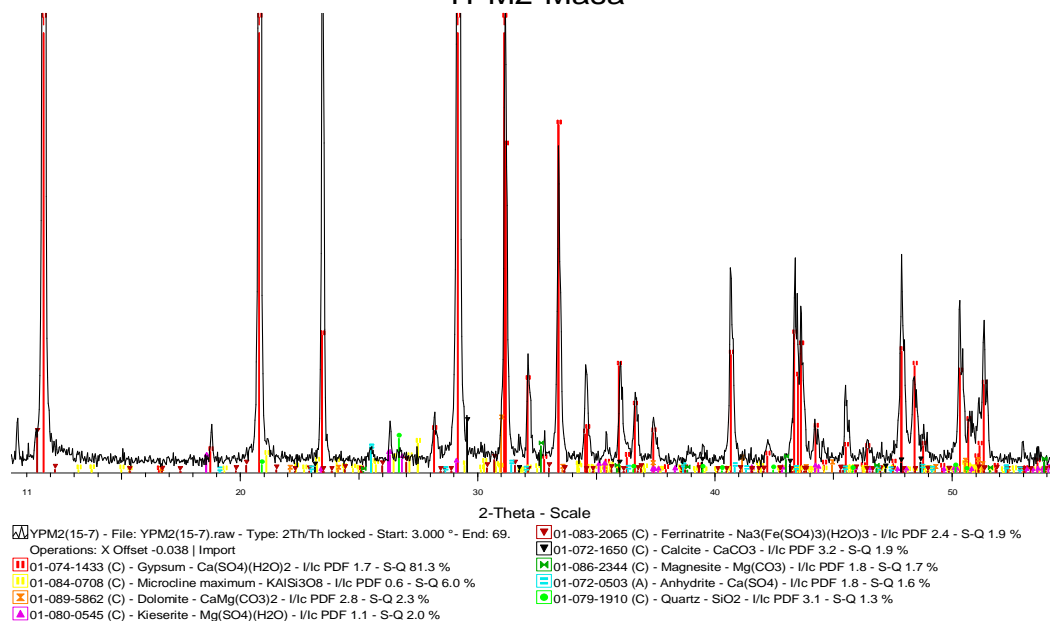


COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)				COMPOSICIÓN MINERALÓGICA		PROPIEDADES DE LA MUESTRA	
SiO ₂	1.58	K ₂ O	0.14	Yeso (sulfato de calcio dihidrato) CaSO ₄ · 2H ₂ O	Muy abundante	Densidad Real Aprox.(gr/cm ³)	2.35
Al ₂ O ₃	0.45	SrO	0.14	Anhidrita Ca SO ₄	Indicios	Densidad Aparente (gr/cm ³)	1.21
Fe ₂ O ₃	0.25	P ₂ O ₅	0.03	Aragonito CaCO ₃	No detectado	Porosidad Abierta (%)	48.4
MnO	0.01	SO ₃	44.74	Calcita CaCO ₃	Indicios	Dureza (shore)	73.0
MgO	0.78	PC	21.71	Dolomita Ca Mg (CO ₃) ₂	Indicios	Impurezas (%)	6.38
CaO	32.01	Total	101.39	Cuarzo SiO ₂	Indicios		
Na ₂ O	0.02			Magnesita MgCO ₃	Indicios		



LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA

YPM2-Masa



LUGAR DE EXTRACCIÓN DE LA MUESTRA



YESERÍAS DE TRADICIÓN ISLÁMICA DEL REAL ALCÁZAR DE SEVILLA (YPL)

AUTORES: F. Javier Blasco / F. Javier Alejandre

DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA: YPL

REGISTRO ARQUEOLÓGICO: -

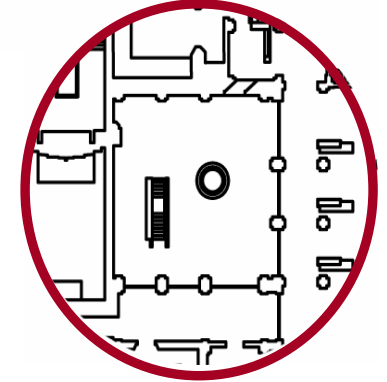
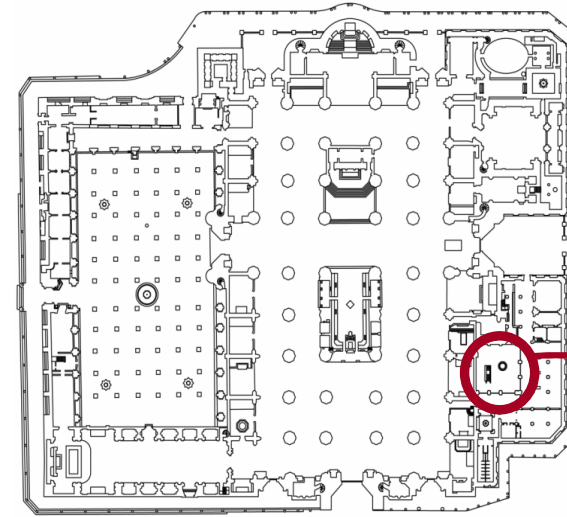
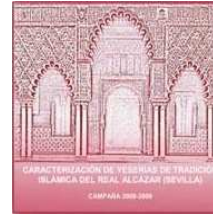
PROCEDENCIA: Catedral de Sevilla. Patio Limones.

ORGANISMO QUE APORTA LA MUESTRA: Museo Arqueológico de Sevilla

DATACIÓN: Siglo XII-XIII (Catalogación arqueológica)

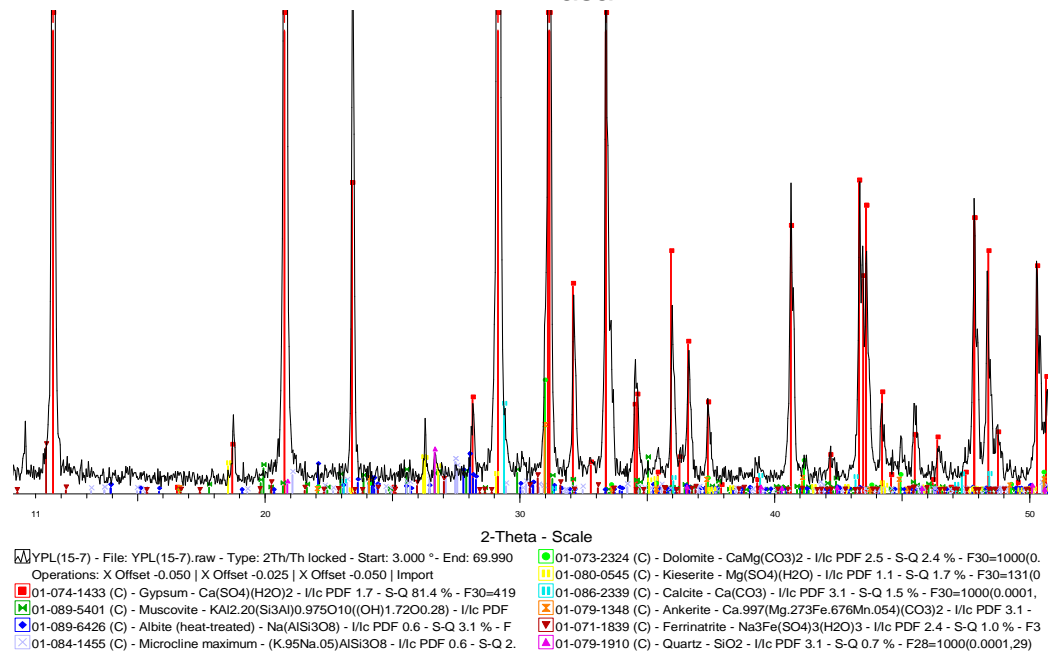
MATERIAL DE LA MASA DE LA MUESTRA: Yeso dihidrato de media pureza (45% - 40% de SO₃).

MATERIAL DE LA CAPA DE LA MUESTRA: Se trata de masa interior



COMPOSICIÓN MINERALÓGICA		PROPIEDADES DE LA MUESTRA		COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)			
Yeso (sulfato de calcio dihidrato) CaSO ₄ · 2H ₂ O	Muy abundante	Densidad Real Aprox.(gr/cm ³)	2.36	SiO ₂	1.34	K ₂ O	0.16
Anhidrita Ca SO ₄	No detectado	Densidad Aparente (gr/cm ³)	1.18	Al ₂ O ₃	0.34	SrO	0.07
Aragonito CaCO ₃	No detectado	Porosidad Abierta (%)	50.0	Fe ₂ O ₃	0.19	P ₂ O ₅	0.02
Calcita CaCO ₃	Indicios	Dureza (shore)	75.0	MnO	0.00	SO ₃	43.51
Dolomita Ca Mg (CO ₃) ₂	Indicios	Impurezas (%)	18.93	MgO	1.17	PC	22.08
Cuarzo SiO ₂	Indicios			CaO	31.86	Total	100.68
Magnesita MgCO ₃	No detectado			Na ₂ O	0.02		

YPL-Masa



MUESTRA

YESERÍAS DE TRADICIÓN ISLÁMICA DEL REAL ALCÁZAR DE SEVILLA

AUTORES: F. Javier Blasco / F. Javier Alejandro

DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA: YPY (sebka original)

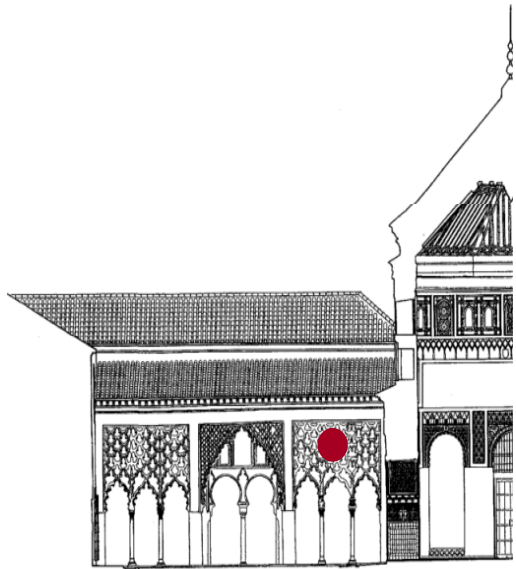
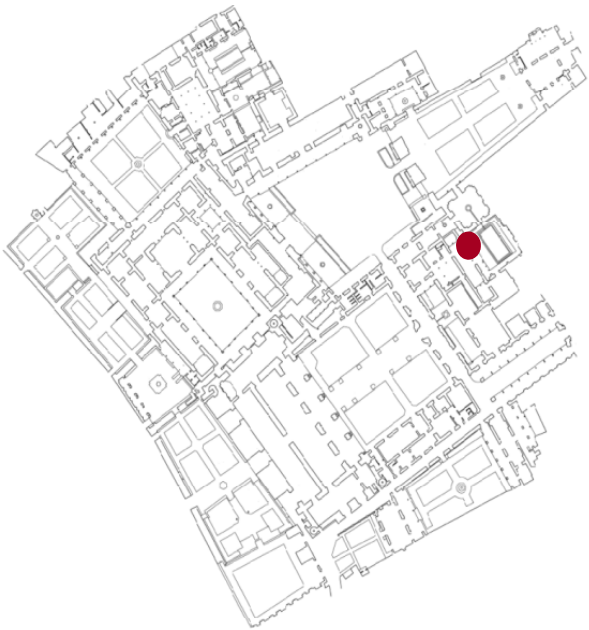
REGISTRO ARQUEOLÓGICO: -

PROCEDENCIA: Palacio Almohade. Patio del Yeso (Zona Original)

ORGANISMO QUE APORTA LA MUESTRA: Patronato Real Alcázar de Sevilla.

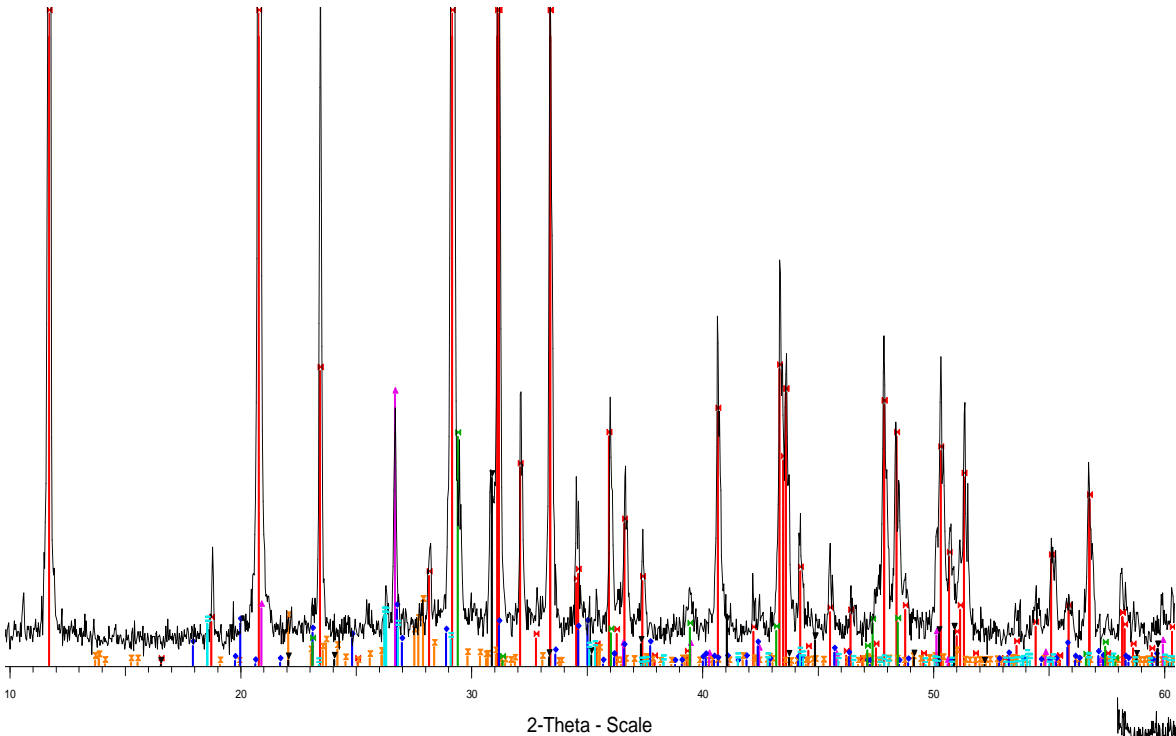
DATACIÓN: Siglo XII-XIII

MATERIAL DE LA MASA DE LA MUESTRA: Yeso dihidrato de baja pureza (<40% de SO₃).



COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)				COMPOSICIÓN MINERALÓGICA			PROPIEDADES DE LA MUESTRA	
				MINERAL	MASA	CAPA		
SiO ₂	13.50	K ₂ O	0.41	Yeso dihidrato CaSO ₄ · 2H ₂ O	Muy abundante	Abundante	Densidad Real Aprox.(gr/cm ³)	2.37
Al ₂ O ₃	1.55	SrO	0.20	Anhidrita Ca SO ₄	No detectado	Abundante	Densidad Aparente (gr/cm ³)	1.38
Fe ₂ O ₃	0.81	P ₂ O ₅	0.04	Aragonito CaCO ₃	No detectado	Indicios	Porosidad Abierta (%)	41.9
MnO	0.02	SO ₃	36.38	Calcita CaCO ₃	Indicios	Indicios	Dureza (shore)	83.0
MgO	1.29	PC	19.39	Dolomita Ca Mg (CO ₃) ₂	Indicios	Indicios	Impurezas (%)	27.31
CaO	27.77	Total	101.27	Cuarzo SiO ₂	Indicios	Indicios		
Na ₂ O	0.02			Magnesita MgO	No detectado			

YPY-Masa



YPY(15-7) - File: YPY(15-7).raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 69.990
Operations: X Offset -0.038 | Import

01-074-1433 (C) - Gypsum - Ca(SO₄)(H₂O)2 - I/Ic PDF 1.7 - S-Q 75.4 %

01-083-2215 (C) - Albite high - K_{0.2}Na_{0.8}AlSi₃O₈ - I/Ic PDF 0.6 - S-Q 5.3 %

01-079-1910 (C) - Quartz - SiO₂ - I/Ic PDF 3.1 - S-Q 4.6 %

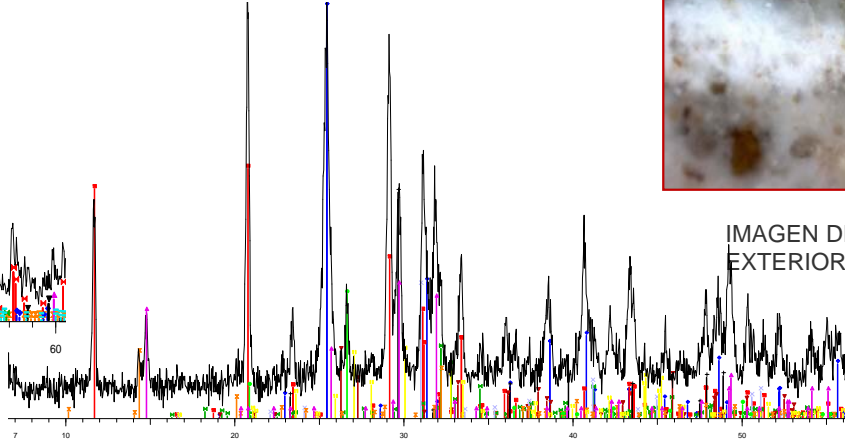
01-083-1729 (C) - Lepidolite 3T - (K₂(Al₂.32Mn_{0.11}Li_{3.46})(Si₇AlO₂₀)F₃(OH))1.5 - I

01-086-2339 (C) - Calcite - Ca(CO₃) - I/Ic PDF 3.1 - S-Q 3.8 %

01-074-1687 (C) - Dolomite - CaMg(CO₃)₂ - I/Ic PDF 2.8 - S-Q 3.5 %

01-080-0545 (C) - Kieserite - Mg(SO₄)(H₂O) - I/Ic PDF 1.1 - S-Q 2.5 %

YPY-Capa



YPYA-JA - File: YPYA-JA.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 69.990 °
Operations: Import

01-072-0916 (C) - Anhydrite - Ca(SO₄) - I/Ic PDF 1.8 -

01-074-1433 (C) - Gypsum - Ca(SO₄)(H₂O)2 - I/Ic PDF 1.7 -

01-073-2091 (A) - Larnite - Ca₂SiO₄ - I/Ic PDF 0.7 -

01-089-1306 (C) - Magnesium calcite, syn - (Mg_{0.06}Ca_{0.94})(CO₃) - I/Ic PDF 3.1 -

01-076-0606 (A) - Aragonite - Ca(CO₃) - I/Ic PDF 1.1 -

01-073-2324 (C) - Dolomite - CaMg(CO₃)₂ - I/Ic PDF 2.5 -

01-075-1314 (C) - Weddellite - CaC₂O₄(H₂O)2.375 - I/Ic PDF 1.4 -

01-073-0529 (A) - Celestine - SrSO₄ - I/Ic PDF 2 -

01-089-1961 (C) - Quartz low, dauphinese-twinned - SiO₂ - I/Ic PDF 4.1 -

00-041-0224 (I) - Bassanite, syn - CaSO₄0.5H₂O -



LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA



IMAGEN DE LA CAPA EXTERIOR



LUGAR DE LA MUESTRA ANTES DE LA EXTRACCIÓN



LUGAR DE LA MUESTRA TRAS LA EXTRACCIÓN

CAPA DE LA MUESTRA	Nº DE CAPAS	ESPESOR	PROBABLE APLICACIÓN
YPY	1	400-600 micras	Enjalbegado de yeso y anhidrita

YESERÍAS DE TRADICIÓN ISLÁMICA DEL REAL ALCÁZAR DE SEVILLA

AUTORES: F. Javier Blasco / F. Javier Alejandro

DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA: YPD (ajimez de galería P. Baja norte)

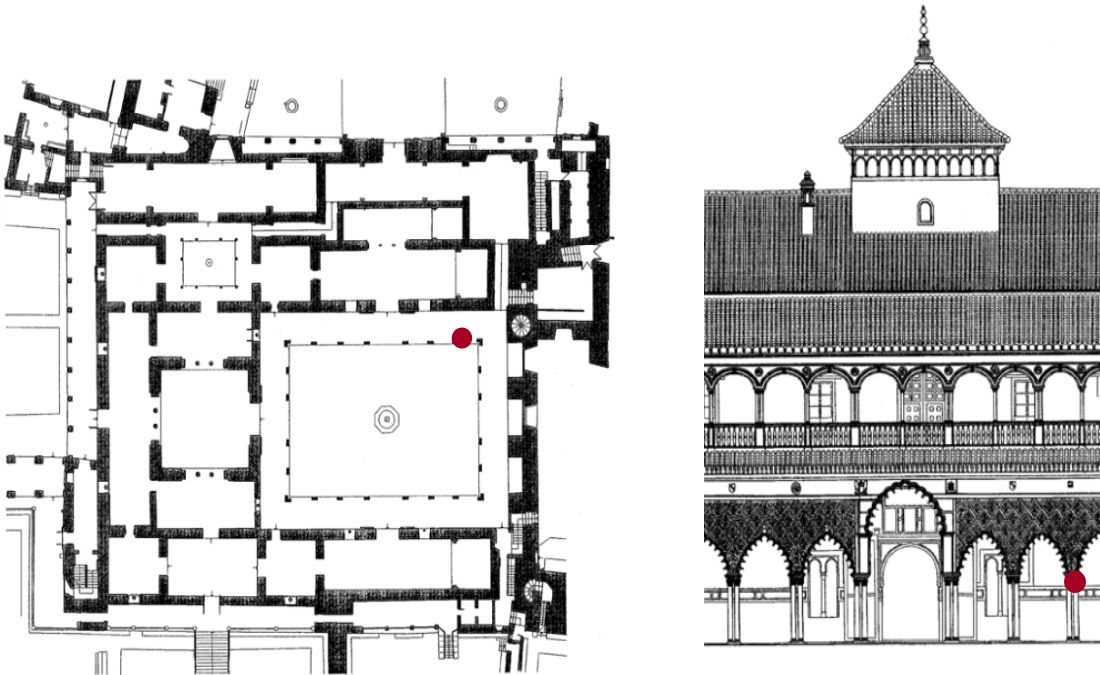
REGISTRO ARQUEOLÓGICO: -

PROCEDENCIA: Palacio Mudéjar. Patio de las Doncellas.

ORGANISMO QUE APORTA LA MUESTRA: Patronato Real Alcázar de Sevilla.

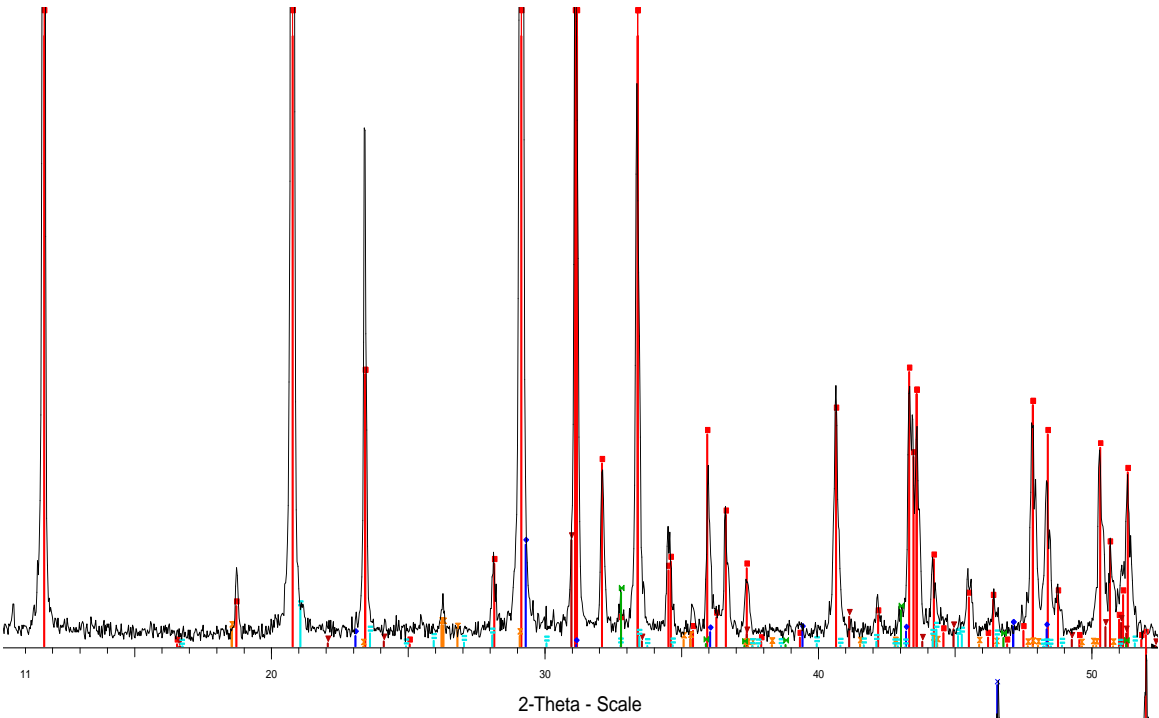
DATACIÓN: Siglo XIV

MATERIAL DE LA MASA DE LA MUESTRA: Yeso dihidrato de alta pureza (>45% de SO₃)



COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)				COMPOSICIÓN MINERALÓGICA			PROPIEDADES DE LA MUESTRA	
				MINERAL	MASA	CAPA		
SiO ₂	0.09	K ₂ O	0.02	Yeso dihidrato CaSO ₄ · 2H ₂ O	Muy abundante	Medio	Densidad Real Aprox.(gr/cm ³)	2.33
Al ₂ O ₃	0.04	SrO	0.18	Anhidrita Ca SO ₄	No detectado	Indicios	Densidad Aparente (gr/cm ³)	1.31
Fe ₂ O ₃	0.07	P ₂ O ₅	0.01	Aragonito CaCO ₃	No detectado	Indicios	Porosidad Abierta (%)	43.9
MnO	0.01	SO ₃	47.14	Calcita magnésica MgCaCO ₃	Indicios	Muy abundante	Dureza (shore)	81.0
MgO	0.33	PC	21.57	Dolomita Ca Mg (CO ₃) ₂	Indicios	Indicios	Impurezas (%)	2.18
CaO	32.61	Total	101.88	Cuarzo SiO ₂	Indicios	Indicios		
Na ₂ O	0.01			Magnesita MgCO ₃	Indicios			

YPD-Masa



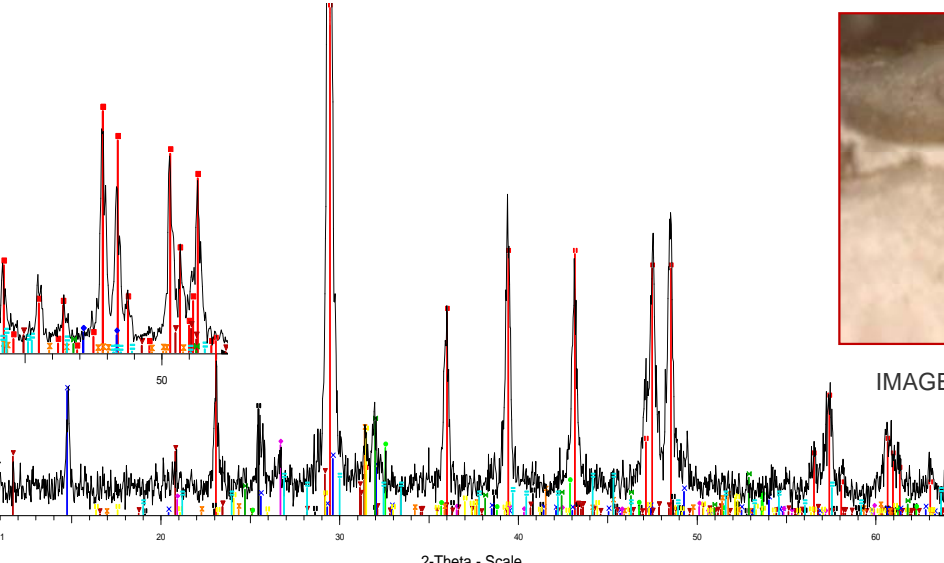
YPD(15-7) - File: YPD(15-7).raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 69.99
Operations: Import

- 01-074-1433 (C) - Gypsum - Ca(SO₄)(H₂O)₂ - I/Ic PDF 1.7 -
- 01-075-1710 (C) - Dolomite - CaMg(CO₃)₂ - I/Ic PDF 2.4 -
- 01-086-2340 (C) - Calcite - Ca(CO₃) - I/Ic PDF 2.9 -
- 01-080-0545 (C) - Kieserite - Mg(SO₄)(H₂O) - I/Ic PDF 1.1 -

00-003-0788 (D) - Magnesite - MgCO₃ -

01-083-1719 (A) - Celestine - SrSO₄ - I/Ic PDF 3.3 -

YPD-Capa



YPD-JA - File: YPD-JA.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.874 ° - End: 69.886 ° - S

Operations: Displacement 0.240 | Displacement 0.198 | Import

- 01-089-1458 (C) - Calcium Sulfate - Ca(SO₄) - I/Ic PDF 3.5 - F30=1000(0.0002,31)
- 01-079-1344 (C) - Dolomite - CaMg(CO₃)₂ - I/Ic PDF 2.5 - F30=1000(0.0001,30)
- 01-086-1560 (C) - Quartz low - SiO₂ - I/Ic PDF 3. - F29=1000(0.0001,29)
- 01-089-1583 (C) - Gehlenite, syn - Ca₂Al(AI₁22Si_{0.78}O₆.78)(OH)_{0.22} - I/Ic PDF 2.
- 00-003-0746 (D) - Siderite - FeCO₃ - F13= 1(0.2230,42)
- 00-003-0437 (D) - Celestine - SrSO₄ - F30= 2(0.1770,114)

01-072-0916 (C) - Anhydrite - Ca(SO₄) - I/Ic PDF 1.8 - F30=125(0.0063,38)

01-074-1433 (C) - Gypsum - Ca(SO₄)(H₂O)₂ - I/Ic PDF 1.7 - F30=419(0.0019,37)

01-086-2346 (A) - Magnesite - Mg(CO₃) - I/Ic PDF 1.8 - F26=406(0.0024,27)



LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA



IMAGEN DE LA CAPA EXTERIOR



LUGAR DE LA MUESTRA ANTES DE LA EXTRACCIÓN



LUGAR DE LA MUESTRA TRAS LA EXTRACCIÓN

CAPA DE LA MUESTRA	Nº DE CAPAS	ESPESOR	PROBABLE APLICACIÓN
YPD	1	100-200 micras	Enjalbegado de cal

YESERÍAS DE TRADICIÓN ISLÁMICA DEL REAL ALCÁZAR DE SEVILLA

AUTORES: F. Javier Blasco / F. Javier Alejandro

DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA: YPS (remate de zona restaurada)

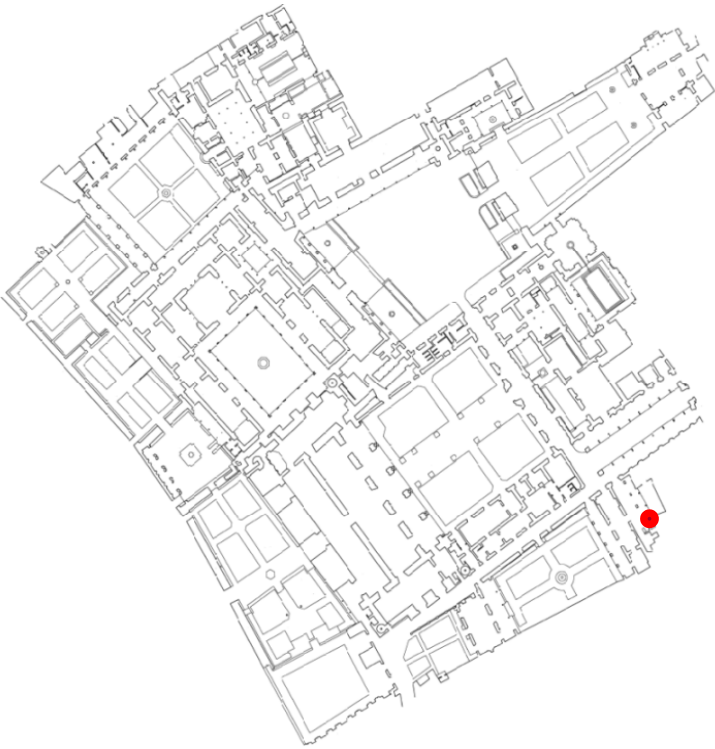
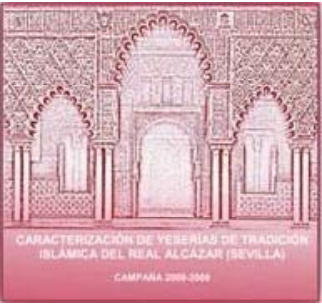
REGISTRO ARQUEOLÓGICO: -

PROCEDENCIA: Patio del Sol (Zona Restaurada).

ORGANISMO QUE APORTA LA MUESTRA: Patronato Real Alcázar de Sevilla.

DATACIÓN: Siglo XIV-XVI

MATERIAL DE LA MASA DE LA MUESTRA: Yeso dihidrato de alta pureza (>45% de SO₃).

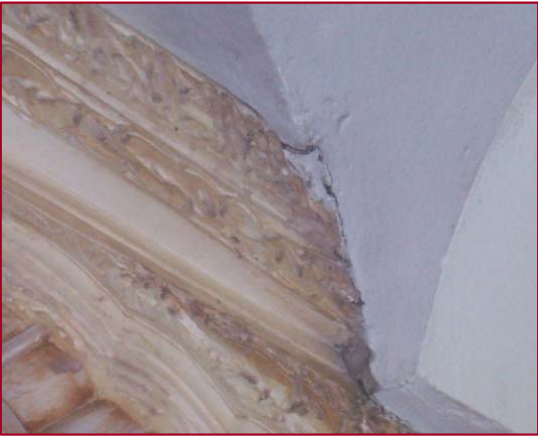


LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA

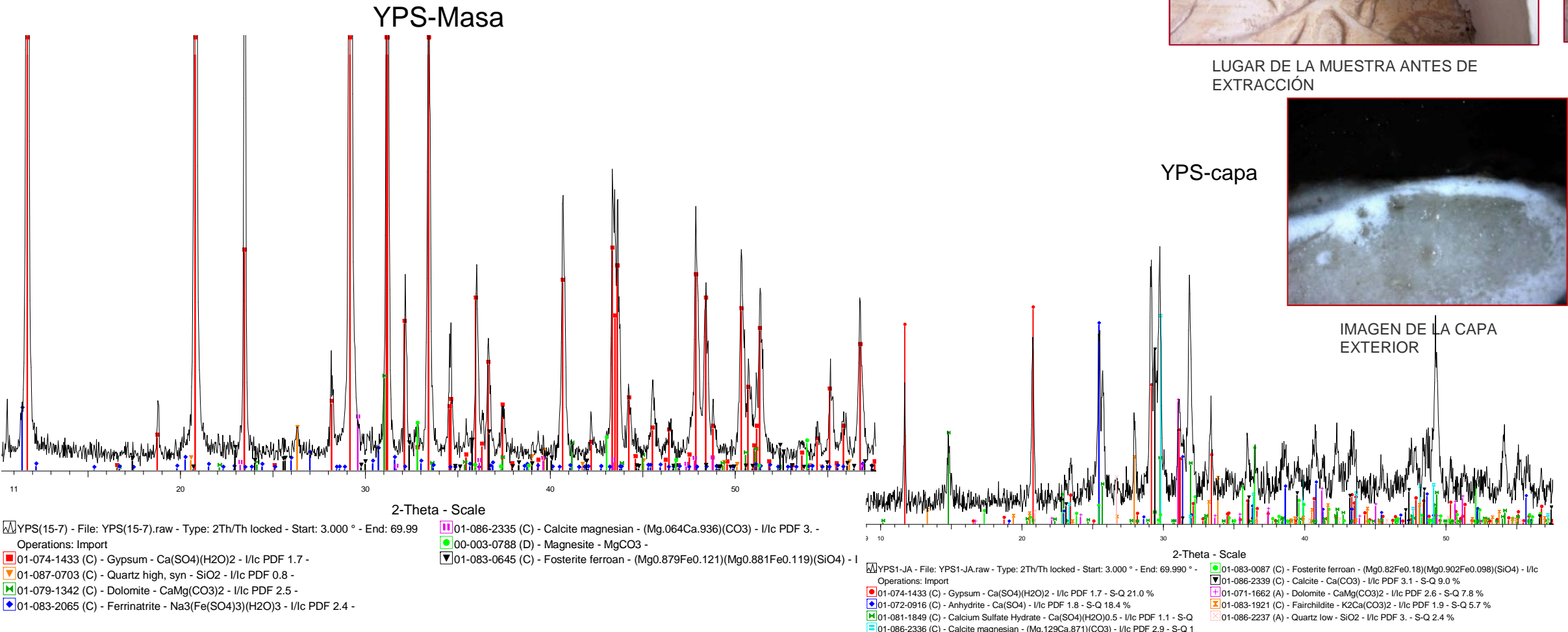
COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)				COMPOSICIÓN MINERALÓGICA			PROPIEDADES DE LA MUESTRA	
				MINERAL	MASA	CAPA		
SiO ₂	0.34	K ₂ O	0.04	Yeso dihidrato CaSO ₄ · 2H ₂ O	Muy abundante	Medio	Densidad Real Aprox.(gr/cm ³)	2.11
Al ₂ O ₃	0.11	SrO	0.20	Anhidrita Ca SO ₄	No detectado	Medio	Densidad Aparente (gr/cm ³)	1.12
Fe ₂ O ₃	0.07	P ₂ O ₅	0.01	Aragonito CaCO ₃	Indicios	Indicios	Porosidad Abierta (%)	47.0
MnO	0.00	SO ₃	45.89	Calcita CaCO ₃	Indicios	Medio	Dureza (shore)	75.0
MgO	0.32	PC	21.82	Dolomita Ca Mg (CO ₃) ₂	Indicios	Indicios	Impurezas (%)	3.80
CaO	32.43	Total	101.05	Cuarzo SiO ₂	Indicios	Indicios		
Na ₂ O	0.04			Magnesita MgCO ₃	Indicios			



LUGAR DE LA MUESTRA ANTES DE EXTRACCIÓN



LUGAR DE LA MUESTRA TRAS LA EXTRACCIÓN



CAPA DE LA MUESTRA	YPS
Nº DE CAPAS	1
ESPESOR	150-200 micras
PROBABLE APLICACIÓN	Enjalbegado de yeso y anhidrita

YESERÍAS DE TRADICIÓN ISLÁMICA DEL REAL ALCÁZAR DE SEVILLA

AUTORES: F. Javier Blasco / F. Javier Alejandre

DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA: YPS2 (enjuta exterior primer arco desde acceso)

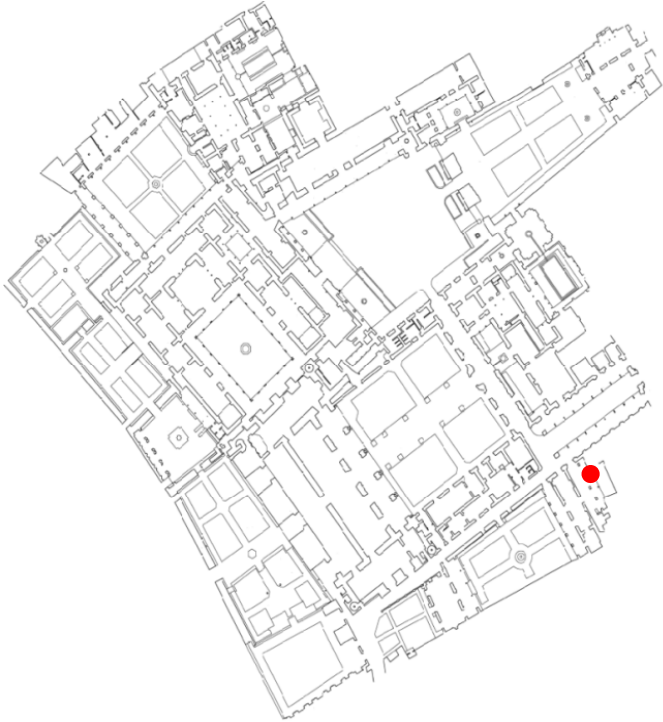
REGISTRO ARQUEOLÓGICO: -

PROCEDENCIA: Patio del Sol (Zona descrita por Pavón M.).

ORGANISMO QUE APORTA LA MUESTRA: Patronato Real Alcázar de Sevilla.

DATACIÓN: Siglo XIII

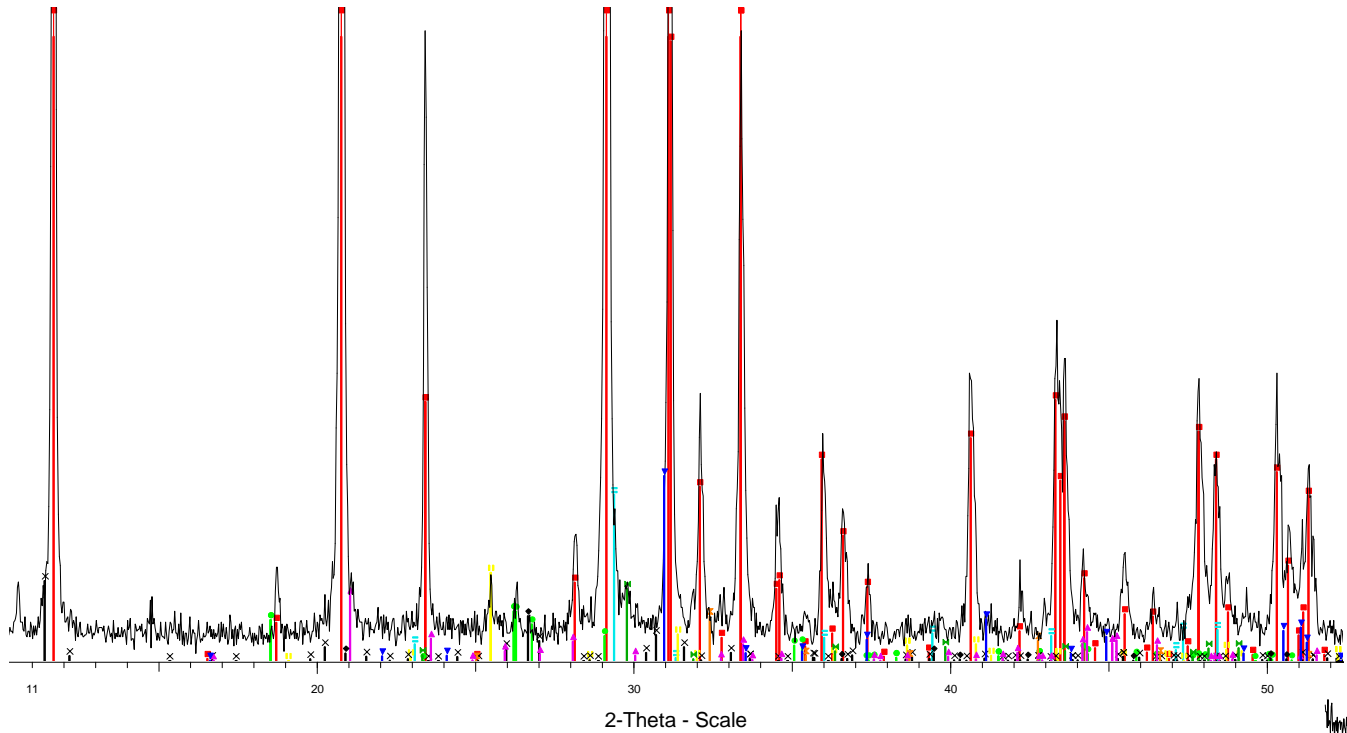
MATERIAL DE LA MASA DE LA MUESTRA: Yeso dihidrato de media pureza (45% - 40% de SO₃).



LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA

COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)				COMPOSICIÓN MINERALÓGICA			PROPIEDADES DE LA MUESTRA	
				MINERAL	MASA	CAPA		
SiO ₂	0.29	K ₂ O	0.02	Yeso dihidrato CaSO ₄ · 2H ₂ O	Muy abundante	Muy abundante	Densidad Real Aprox.(gr/cm³)	2.29
Al ₂ O ₃	0.09	SrO	0.24	Anhidrita Ca SO ₄	Indicios	Indicios	Densidad Aparente (gr/cm³)	1.02
Fe ₂ O ₃	0.08	P ₂ O ₅	N.D.	Aragonito CaCO ₃	Indicios	Indicios	Porosidad Abierta (%)	55.5
MnO	0.00	SO ₃	44.21	Calcita CaCO ₃	Indicios	Indicios	Dureza (shore)	70.0
MgO	0.40	PC	21.66	Dolomita Ca Mg (CO ₃) ₂	Indicios	Indicios	Impurezas (%)	3.73
CaO	31.78	Total	98.54	Cuarzo SiO ₂	Indicios	Indicios		
Na ₂ O	0.01			Magnesita MgCO ₃	Indicios			

YPS2-Masa



YPS2(2) - File: YPS2(2).raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 69.990 ° - Operations: Import

- 01-074-1433 (C) - Gypsum - Ca(SO₄)(H₂O)₂ - I/Ic PDF 1.7 - S-Q 79.2 %
- 01-089-5862 (C) - Dolomite - CaMg(CO₃)₂ - I/Ic PDF 2.8 - S-Q 4.2 %
- 01-086-2339 (C) - Calcite - Ca(CO₃) - I/Ic PDF 3.1 - S-Q 3.3 %
- 01-072-0503 (A) - Anhydrite - Ca(SO₄) - I/Ic PDF 1.8 - S-Q 3.2 %
- 01-080-0545 (C) - Kieserite - Mg(SO₄)(H₂O) - I/Ic PDF 1.1 - S-Q 2.9 %
- 01-071-1839 (C) - Ferritrite - Na₃Fe(SO₄)₃(H₂O)₃ - I/Ic PDF 2.4 - S-Q 2.1 %
- 01-086-2336 (C) - Calcite magnesian - (Mg₁₂₉Ca₈₇₁)(CO₃) - I/Ic PDF 2.9 - S-Q 1.
- 01-086-2348 (C) - Magnesite - Mg(CO₃) - I/Ic PDF 1.8 - S-Q 1.6 %
- 01-083-1719 (A) - Celestine - SrSO₄ - I/Ic PDF 3.3 - S-Q 1.2 %
- 01-087-2096 (A) - Quartz - SiO₂ - I/Ic PDF 4.1 - S-Q 0.7 %



LUGAR DE LA MUESTRA ANTES DE EXTRACCIÓN

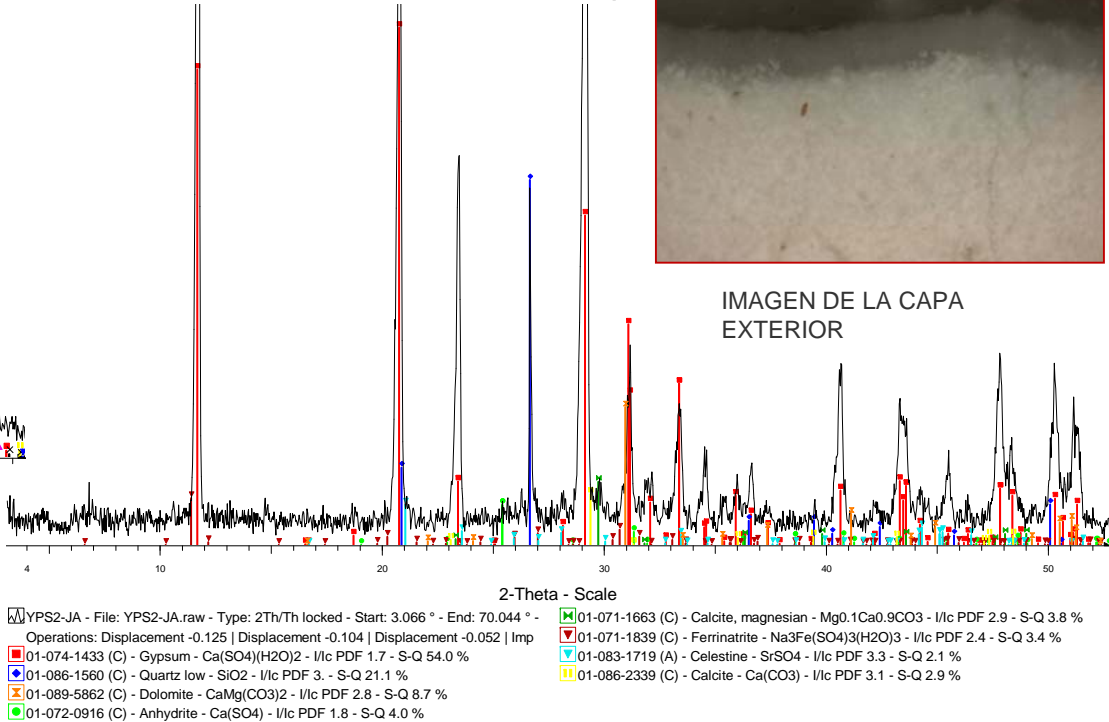


LUGAR DE LA MUESTRA TRAS LA EXTRACCIÓN

YPS2-Capa



IMAGEN DE LA CAPA EXTERIOR



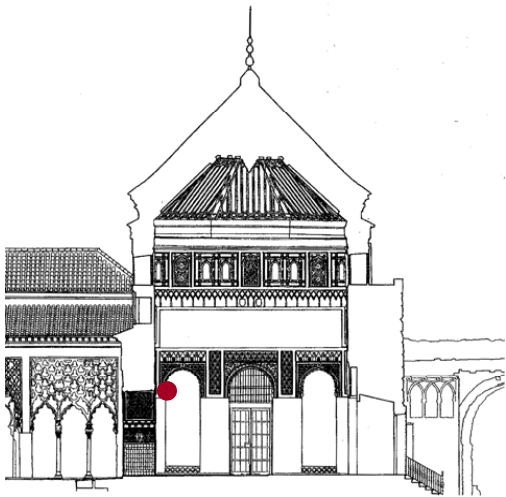
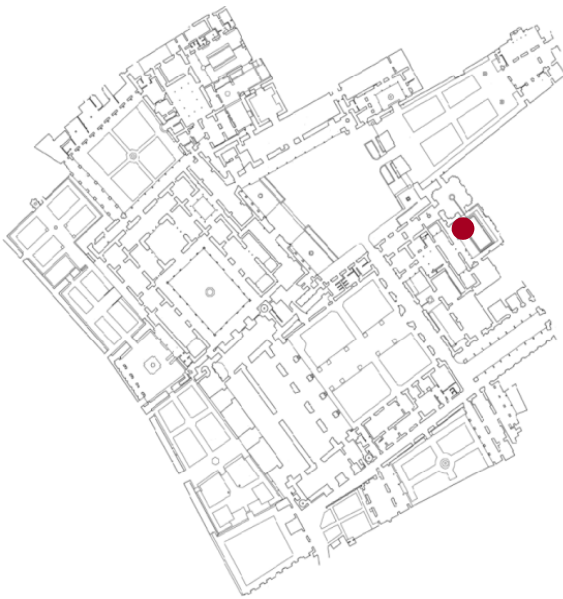
YPS2-JA - File: YPS2-JA.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.066 ° - End: 70.044 ° - Operations: Displacement -0.125 | Displacement -0.104 | Displacement -0.052 | Imp

- 01-074-1433 (C) - Gypsum - Ca(SO₄)(H₂O)₂ - I/Ic PDF 1.7 - S-Q 54.0 %
- 01-086-1560 (C) - Quartz low - SiO₂ - I/Ic PDF 3. - S-Q 21.1 %
- 01-089-5862 (C) - Dolomite - CaMg(CO₃)₂ - I/Ic PDF 2.8 - S-Q 8.7 %
- 01-072-0916 (C) - Anhydrite - Ca(SO₄) - I/Ic PDF 1.8 - S-Q 4.0 %
- 01-071-1663 (C) - Calcite, magnesian - Mg_{0.1}Ca_{0.9}CO₃ - I/Ic PDF 2.9 - S-Q 3.8 %
- 01-071-1839 (C) - Ferritrite - Na₃Fe(SO₄)₃(H₂O)₃ - I/Ic PDF 2.4 - S-Q 3.4 %
- 01-083-1719 (A) - Celestine - SrSO₄ - I/Ic PDF 3.3 - S-Q 2.1 %
- 01-086-2339 (C) - Calcite - Ca(CO₃) - I/Ic PDF 3.1 - S-Q 2.9 %

CAPA DE LA MUESTRA	YPS2
Nº DE CAPAS	0
ESPESOR	-
PROBABLE APLICACIÓN	-

YESERÍAS DE TRADICIÓN ISLÁMICA DEL REAL ALCÁZAR DE SEVILLA

AUTORES:	F. Javier Blasco / F. Javier Alejandro
DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA:	YSJ (arco testero noroeste)
REGISTRO ARQUEOLÓGICO:	-
PROCEDENCIA:	Palacio Almohade. Sala de Justicia
ORGANISMO QUE APORTA LA MUESTRA:	Patronato Real Alcázar de Sevilla.
DATACIÓN:	Siglo XVI
MATERIAL DE LA MASA DE LA MUESTRA:	Yeso dihidrato de media pureza (45% - 40% de SO ₃).



COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)				COMPOSICIÓN MINERALÓGICA			PROPIEDADES DE LA MUESTRA	
				MINERAL	MASA	CAPA		
SiO ₂	1.98	K ₂ O	0.13	Yeso dihidrato CaSO ₄ · 2H ₂ O	Muy abundante	Abundante	Densidad Real Aprox.(gr/cm ³)	2.35
Al ₂ O ₃	0.38	SrO	0.18	Anhidrita Ca SO ₄	No detectado	Abundante	Densidad Aparente (gr/cm ³)	0.98
Fe ₂ O ₃	0.20	P ₂ O ₅	0.06	Aragonito CaCO ₃	Indicios	Indicios	Porosidad Abierta (%)	58.5
MnO	0.01	SO ₃	41.26	Calcita CaCO ₃	Indicios	No detectado	Dureza (shore)	67.0
MgO	1.12	PC	22.21	Dolomita Ca Mg (CO ₃) ₂	Indicios	Indicios	Impurezas (%)	7.03
CaO	31.50	Total	98.89	Cuarzo SiO ₂	Indicios	No detectado		
Na ₂ O	0.06			Magnesita MgCO ₃	Indicios			



LUGAR DE LA MUESTRA ANTES DE EXTRACCIÓN

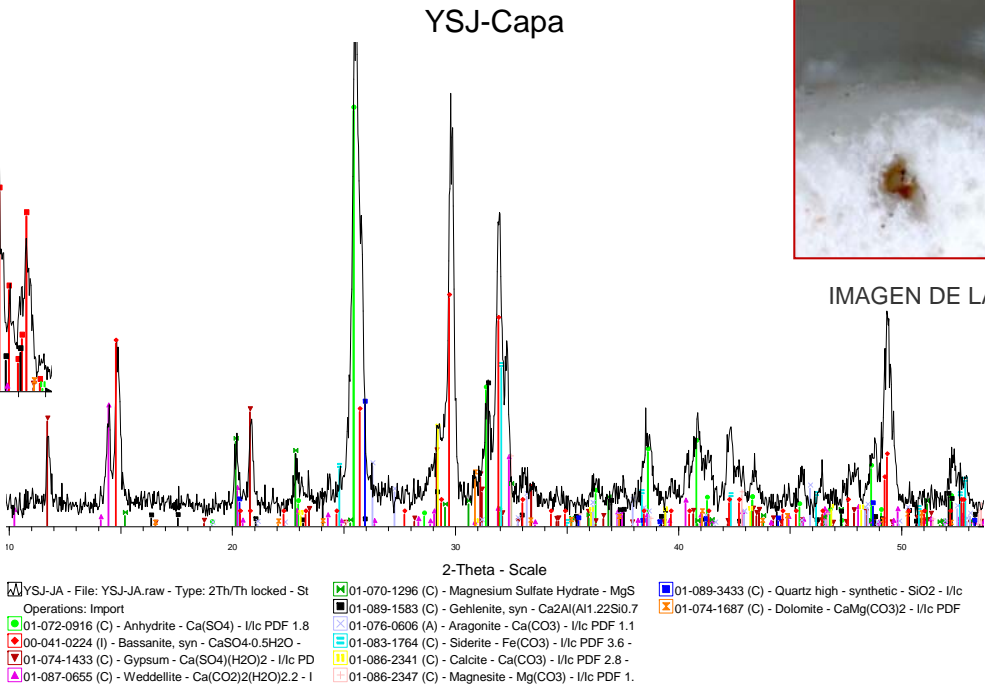
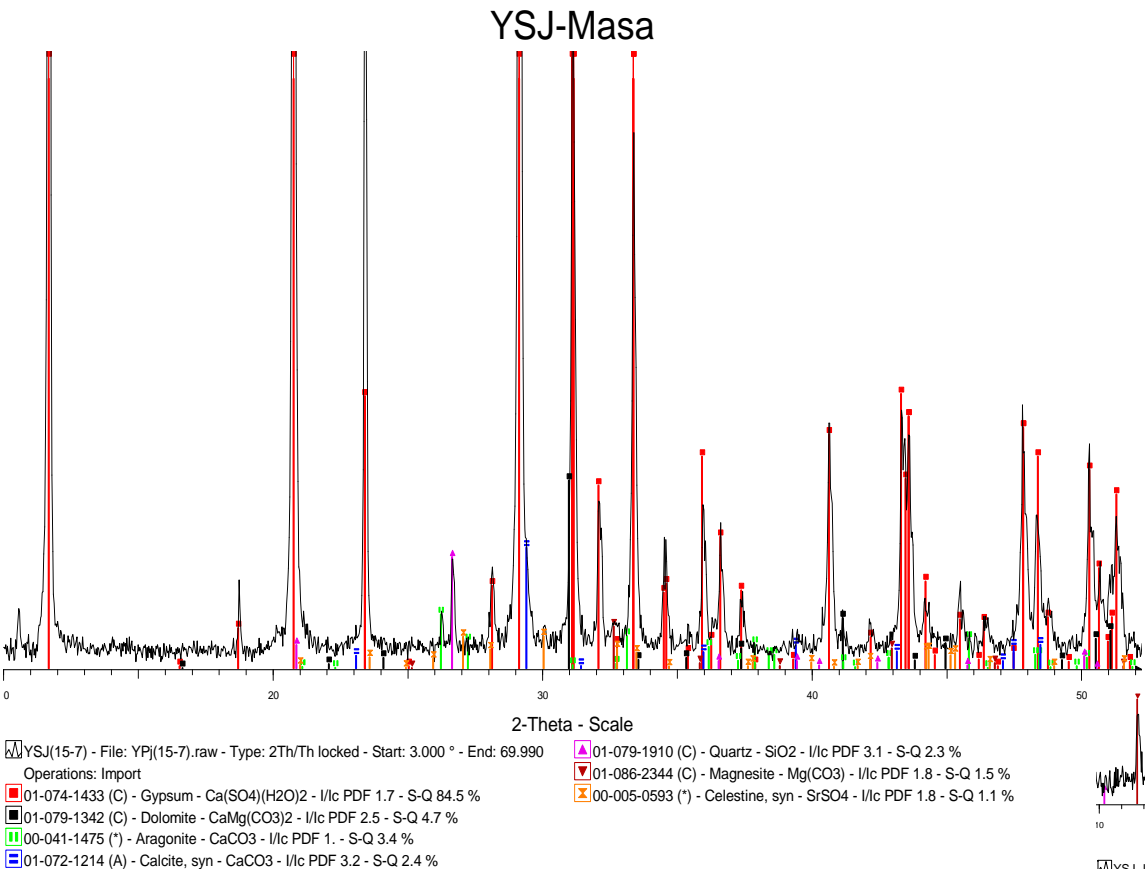
LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA



IMAGEN DE LA CAPA EXTERIOR



LUGAR DE LA MUESTRA TRAS LA EXTRACCIÓN



CAPA DE LA MUESTRA	Nº DE CAPAS	ESPESOR	PROBABL E APLICACIÓN
YSJ	0	-	-

YESERÍAS DE TRADICIÓN ISLÁMICA DEL REAL ALCÁZAR DE SEVILLA

AUTORES: F. Javier Blasco / F. Javier Alejandre

DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA: YCR (arco separación salón-alcoba)

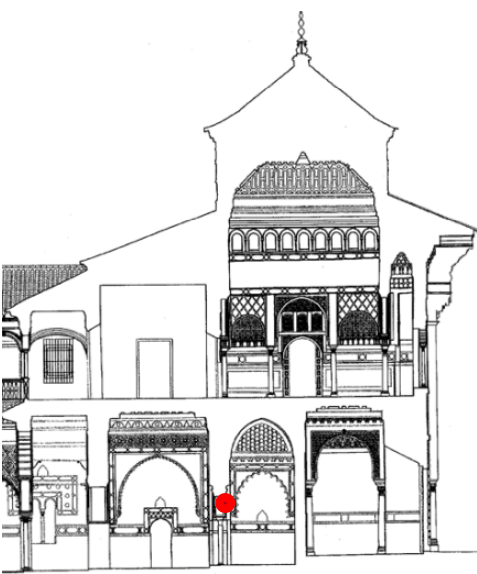
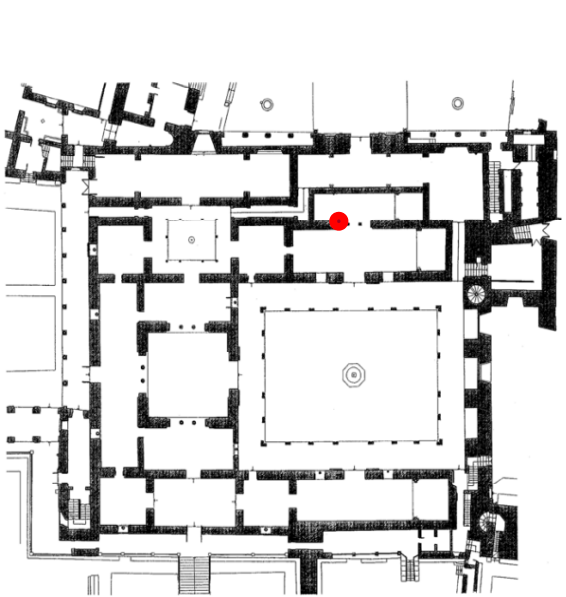
REGISTRO ARQUEOLÓGICO: -

PROCEDENCIA: Palacio Mudéjar. Cuarto Real
(Portada interior salón-alcoba).

ORGANISMO QUE APORTA LA MUESTRA: Patronato Real Alcázar de Sevilla.

DATACIÓN: Siglo XIV-XX

MATERIAL DE LA MASA DE LA MUESTRA: Yeso dihidrato de media pureza (45% - 40% de SO₃).



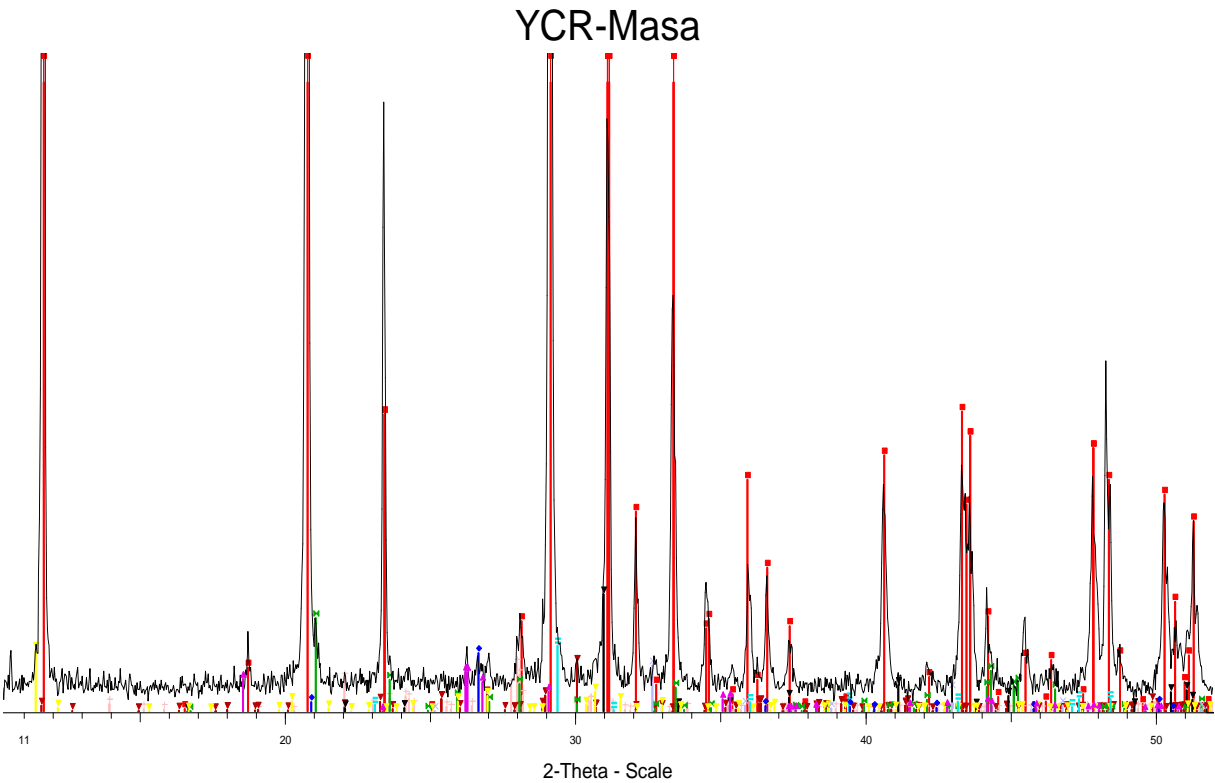
COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)				COMPOSICIÓN MINERALÓGICA			PROPIEDADES DE LA MUESTRA	
				MINERAL	MASA	CAPA		
SiO ₂	2.43	K ₂ O	0.15	Yeso dihidrato CaSO ₄ · 2H ₂ O	Muy abundante	Muy abundante	Densidad Real Aprox.(gr/cm ³)	2.22
Al ₂ O ₃	0.60	SrO	0.33	Anhidrita Ca SO ₄	No detectado	No detectado	Densidad Aparente (gr/cm ³)	1.15
Fe ₂ O ₃	0.36	P ₂ O ₅	0.02	Aragonito CaCO ₃	Indicios	Indicios	Porosidad Abierta (%)	48.2
MnO	0.01	SO ₃	40.61	Calcita CaCO ₃	Indicios	Indicios	Dureza (shore)	73.0
MgO	0.79	PC	21.53	Dolomita Ca Mg (CO ₃) ₂	Indicios	Indicios	Impurezas (%)	3.10
CaO	31.79	Total	98.36	Cuarzo SiO ₂	Indicios	Indicios		
Na ₂ O	0.06			Magnesita MgCO ₃	Indicios			



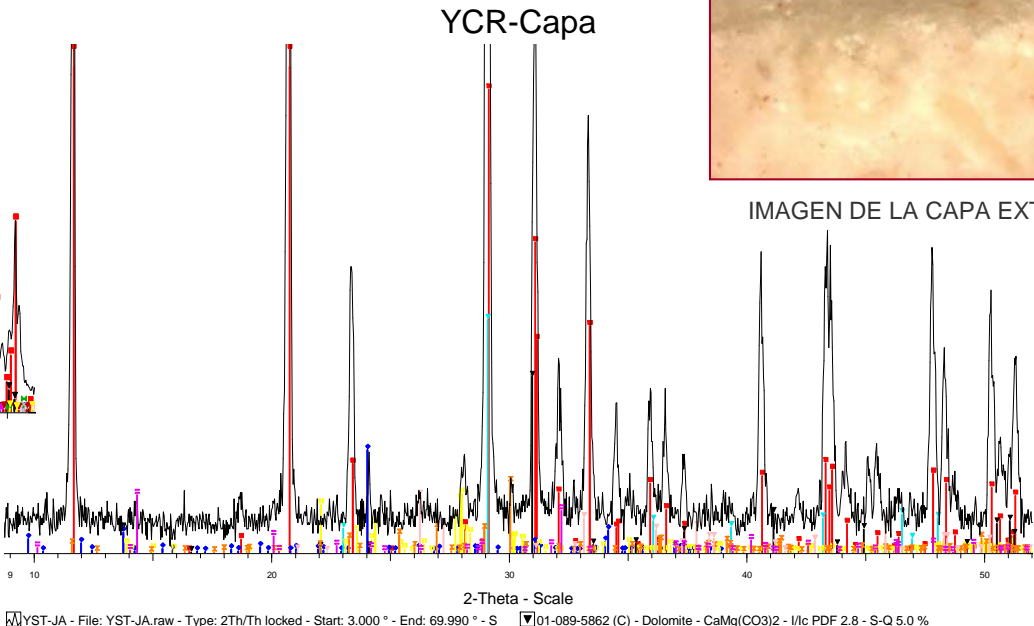
LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA



LUGAR DE LA MUESTRA ANTES DE EXTRACCIÓN



YST(2) - File: YST(2).raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 69.990 ° - St
01-074-1433 (C) - Gypsum - Ca(SO4)(H2O)2 - I/lc PDF 1.7 - S-Q 81.8 %
01-089-6429 (C) - Albite (heat-treated) - Na(AlSi3O8) - I/lc PDF 0.6 - S-Q 4.2 %
01-083-2198 (C) - Wollastonite, ferroan 1A - Ca2.87Fe0.13(SiO3)3 - I/lc PDF 0.9 -
01-089-5862 (C) - Dolomite - CaMg(CO3)2 - I/lc PDF 2.8 - S-Q 2.4 %
01-083-1719 (A) - Celestine - SrSO4 - I/lc PDF 3.3 - S-Q 1.6 %
01-083-2065 (C) - Ferritinrite - Na3(Fe(SO4)3)(H2O)3 - I/lc PDF 2.4 - S-Q 1.4 %
01-081-2273 (A) - Magnesite - Mg(CO3) - I/lc PDF 1.8 - S-Q 1.4 %
01-086-2339 (C) - Calcite - Ca(CO3) - I/lc PDF 3.1 - S-Q 1.2 %
00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2 - I/lc PDF 3.4 - S-Q 1.0 %
01-080-0545 (C) - Kieserite - Mg(SO4)(H2O) - I/lc PDF 1.1 - S-Q 2.1 %



YST-JA - File: YST-JA.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 69.990 ° - S
Operations: Import
01-074-1433 (C) - Gypsum - Ca(SO4)(H2O)2 - I/lc PDF 1.7 - S-Q 34.3 %
01-088-0776 (C) - Lazurite - (Na7Ca)(Al6Si6O24)(SO4)1.5SO0.6225 - I/lc PDF 0.3 -
01-086-2343 (C) - Calcite - Ca(CO3) - I/lc PDF 2.7 - S-Q 7.0 %
01-089-6423 (C) - Albite - Na(AlSi3O8) - I/lc PDF 0.6 - S-Q 7.3 %
01-089-5862 (C) - Dolomite - CaMg(CO3)2 - I/lc PDF 2.8 - S-Q 5.0 %
01-083-2198 (C) - Wollastonite, ferroan 1A - Ca2.87Fe0.13(SiO3)3 - I/lc PDF 0.9 -
00-041-1475 (*) - Aragonite - CaCO3 - I/lc PDF 1. - S-Q 4.5 %
01-075-1314 (C) - Weddellite - CaC2O4(H2O)2.375 - I/lc PDF 1.4 - S-Q 3.2 %



IMAGEN DE LA CAPA EXTERIOR



LUGAR DE LA MUESTRA TRAS LA EXTRACCIÓN

CAPA DE LA MUESTRA	Nº DE CAPAS	ESPESOR	PROBABLE APLICACIÓN
YCR	0	-	-

YESERÍAS DE TRADICIÓN ISLÁMICA DEL REAL ALCÁZAR DE SEVILLA (YCA)

AUTORES:

DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA:

REGISTRO ARQUEOLÓGICO:

PROCEDENCIA:

ORGANISMO QUE APORTA LA MUESTRA:

DATACIÓN:

MATERIAL DE LA MASA DE LA MUESTRA:

F. Javier Blasco / F. Javier Alejandro

YCA (friso testero suroeste)

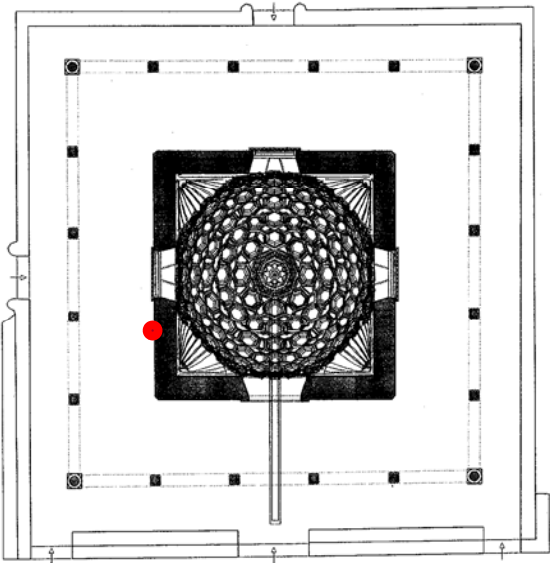
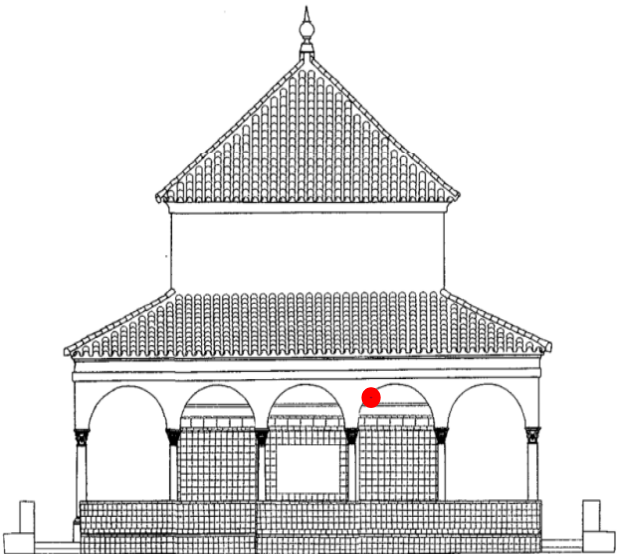
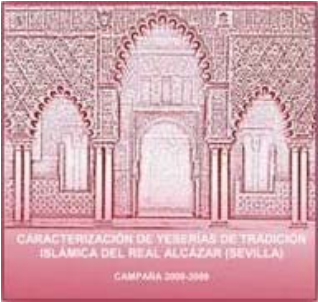
-

Jardines de la Alcoba. Cenador de la Alcoba.

Patronato Real Alcázar de Sevilla.

Siglo XIV – XVI

Yeso dihidrato de media pureza (45% - 40% de SO₃).



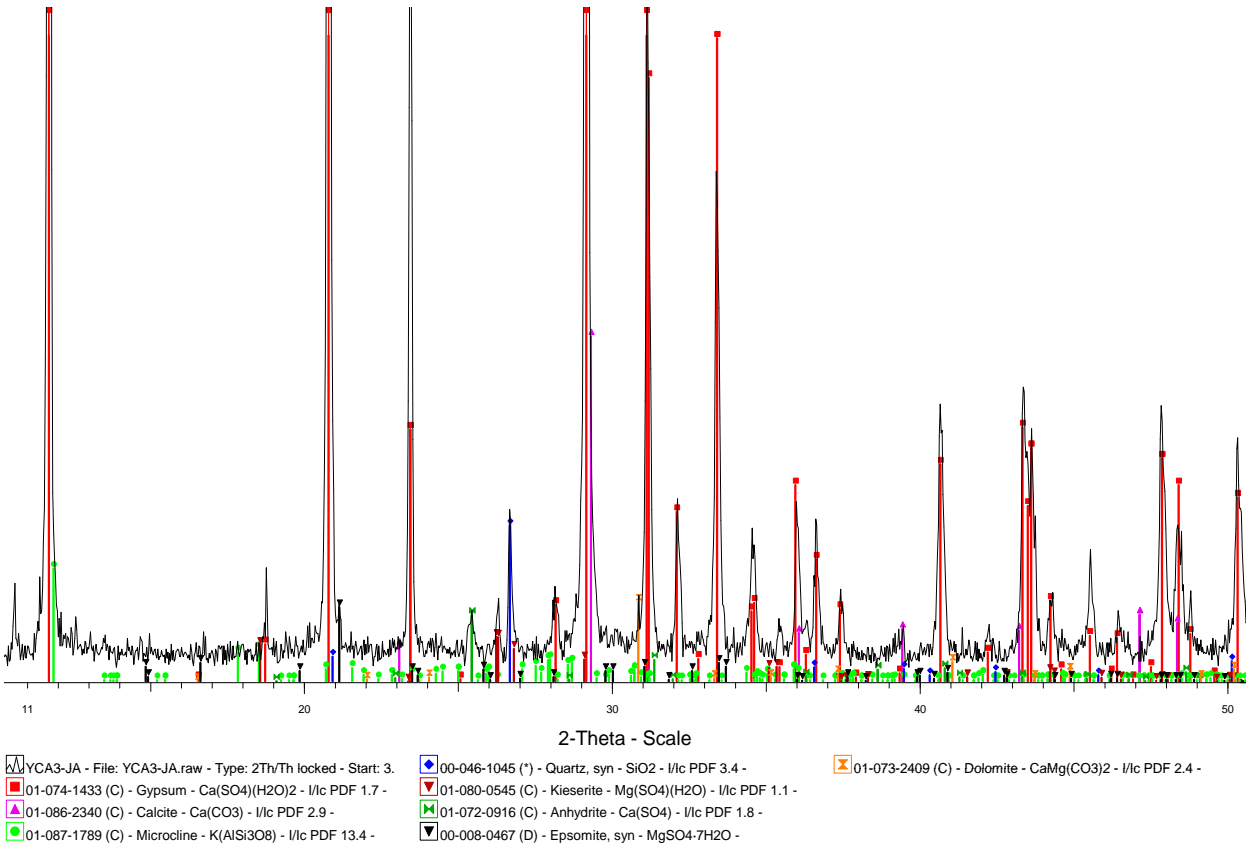
COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)				COMPOSICIÓN MINERALÓGICA			PROPIEDADES DE LA MUESTRA	
				MINERAL	MASA	CAPA		
SiO ₂	2.74	K ₂ O	0.15	Yeso dihidrato CaSO ₄ · 2H ₂ O	Muy abundante	Abundante	Densidad Real Aprox.(gr/cm ³)	2.39
Al ₂ O ₃	0.73	SrO	0.33	Anhidrita Ca SO ₄	Indicios	No detectado	Densidad Aparente (gr/cm ³)	1.05
Fe ₂ O ₃	0.44	P ₂ O ₅	0.02	Aragonito CaCO ₃	No detectado	Indicios	Porosidad Abierta (%)	56.0
MnO	0.00	SO ₃	42.28	Calcita CaCO ₃	Indicios	Medio	Dureza (shore)	67.0
MgO	0.60	PC	21.78	Dolomita Ca Mg (CO ₃) ₂	Indicios	Indicios	Impurezas (%)	8.27
CaO	30.19	Total	98.99	Cuarzo SiO ₂	Indicios	Indicios		
Na ₂ O	0.04			Magnesita MgCO ₃	No detectado			



LUGAR DE LA MUESTRA ANTES DE EXTRACCIÓN

LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA

YCA-Masa



YCA-Capa

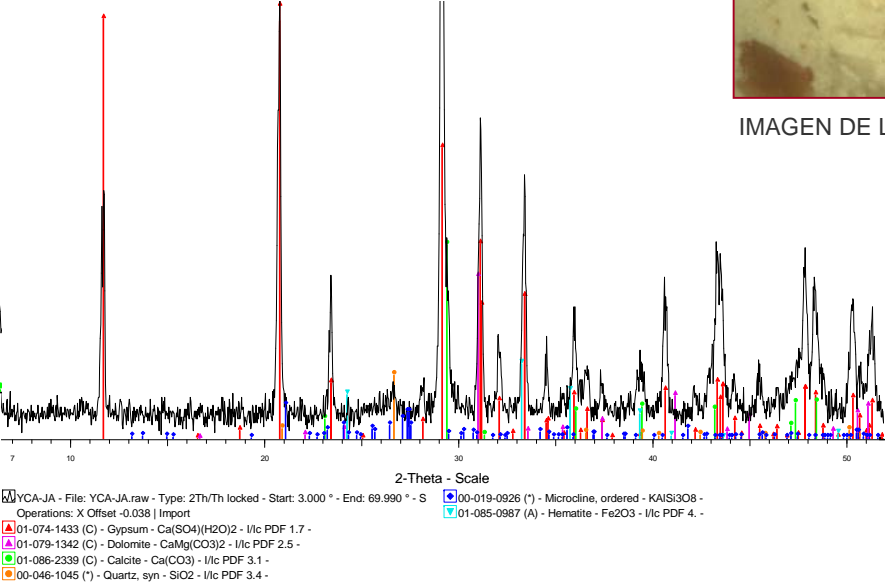


IMAGEN DE LAS CAPAS EXTERIORES



LUGAR DE LA MUESTRA TRAS LA EXTRACCIÓN

CAPA DE LA MUESTRA	Nº DE CAPAS	ESPESOR	PROBABLE APLICACIÓN
YCA	1	30 micras	Enjalbegado de yeso y cal
YCA	3	50-80 micras	Enjalbegado de yeso y cal
YCA	1	500 micras	Enjalbegado de yeso y cal

YESERÍAS DE TRADICIÓN ISLÁMICA DEL REAL ALCÁZAR DE SEVILLA

AUTORES: F. Javier Blasco / F. Javier Alejandre

DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA: YCP (arco noreste)

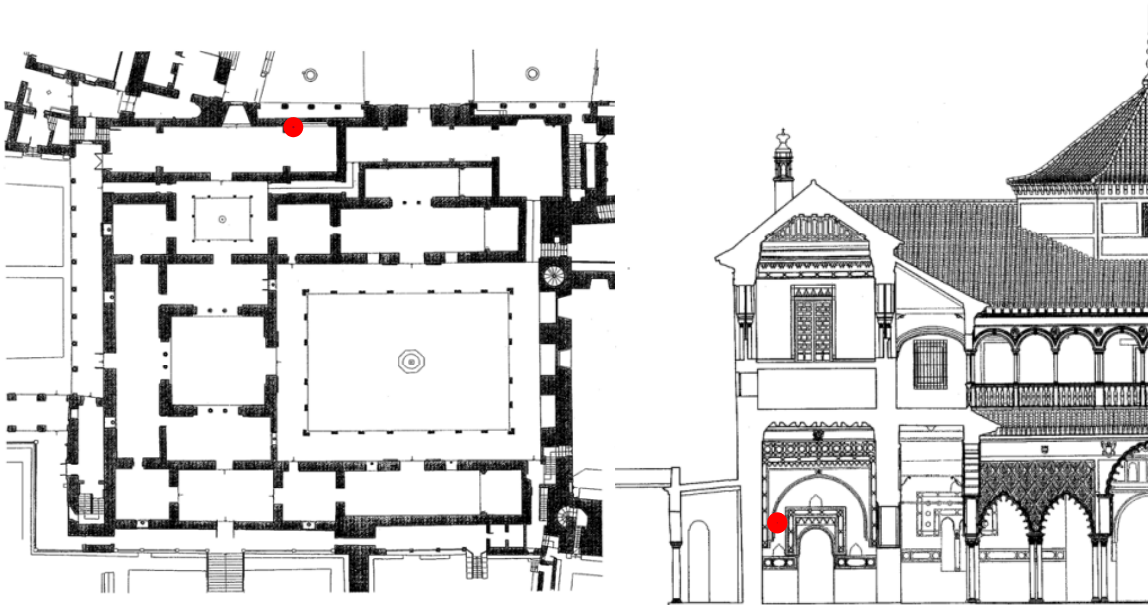
REGISTRO ARQUEOLÓGICO: -

PROCEDENCIA: Palacio Mudéjar. Cuarto del Príncipe.
(Arco de división Sala-Alcoba)

ORGANISMO QUE APORTA LA MUESTRA Patronato Real Alcázar de Sevilla.

DATACIÓN: Siglo XIV.

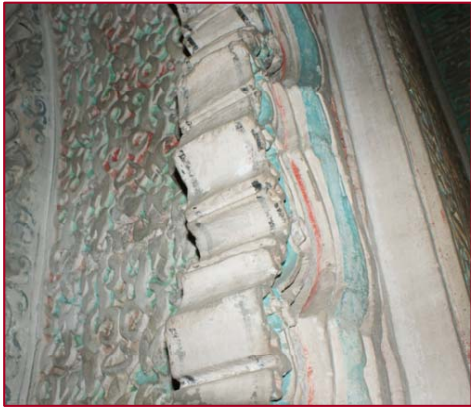
MATERIAL DE LA MASA DE LA MUESTRAYeso dihidrato de pureza media (45% - 40% en SO₃).



COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)				COMPOSICIÓN MINERALÓGICA			PROPIEDADES DE LA MUESTRA	
				MINERAL	MASA	CAPA		
SiO ₂	2.32	K ₂ O	0.20	Yeso dihidrato CaSO ₄ · 2H ₂ O	Muy abundante	Muy abundante	Densidad Real Aprox.(gr/cm ³)	2.24
Al ₂ O ₃	0.57	SrO	0.34	Anhidrita Ca SO ₄	No detectado	No detectado	Densidad Aparente (gr/cm ³)	1.07
Fe ₂ O ₃	0.33	P ₂ O ₅	0.01	Aragonito CaCO ₃	No detectado	Indicios	Porosidad Abierta (%)	47.6
MnO	0.00	SO ₃	40.85	Calcita CaCO ₃	Indicios	Indicios	Dureza (shore)	73.0
MgO	0.76	PC	22.40	Dolomita Ca Mg (CO ₃) ₂	Indicios	Indicios	Impurezas (%)	3.48
CaO	31.16	Total	98.65	Cuarzo SiO ₂	Indicios	No detectado		
Na ₂ O	0.06			Magnesita MgCO ₃	Indicios			



LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA



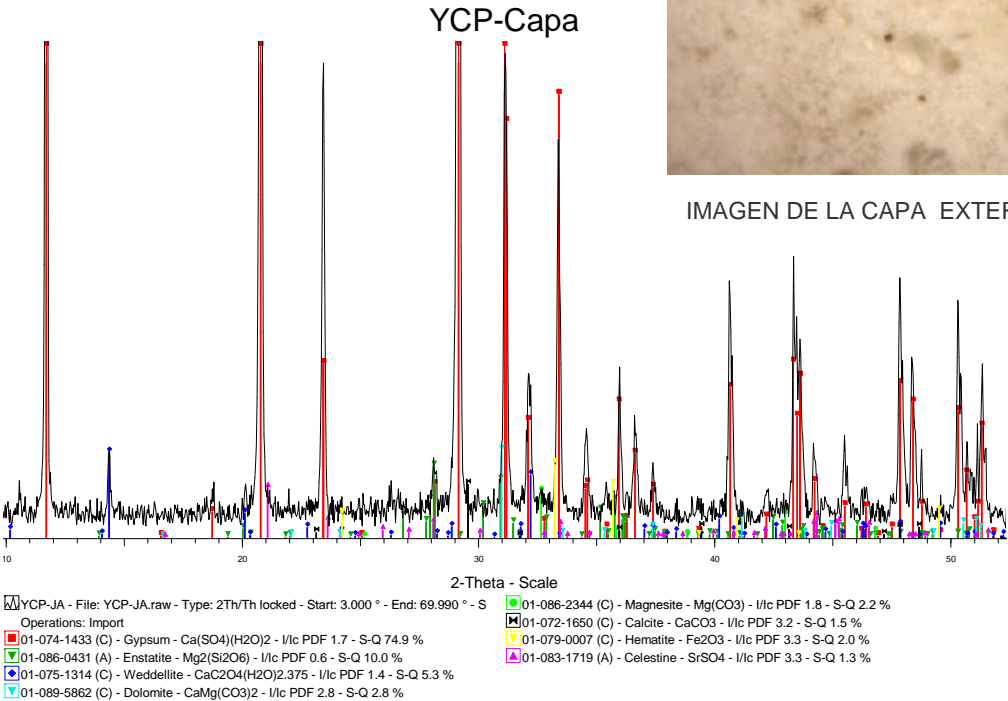
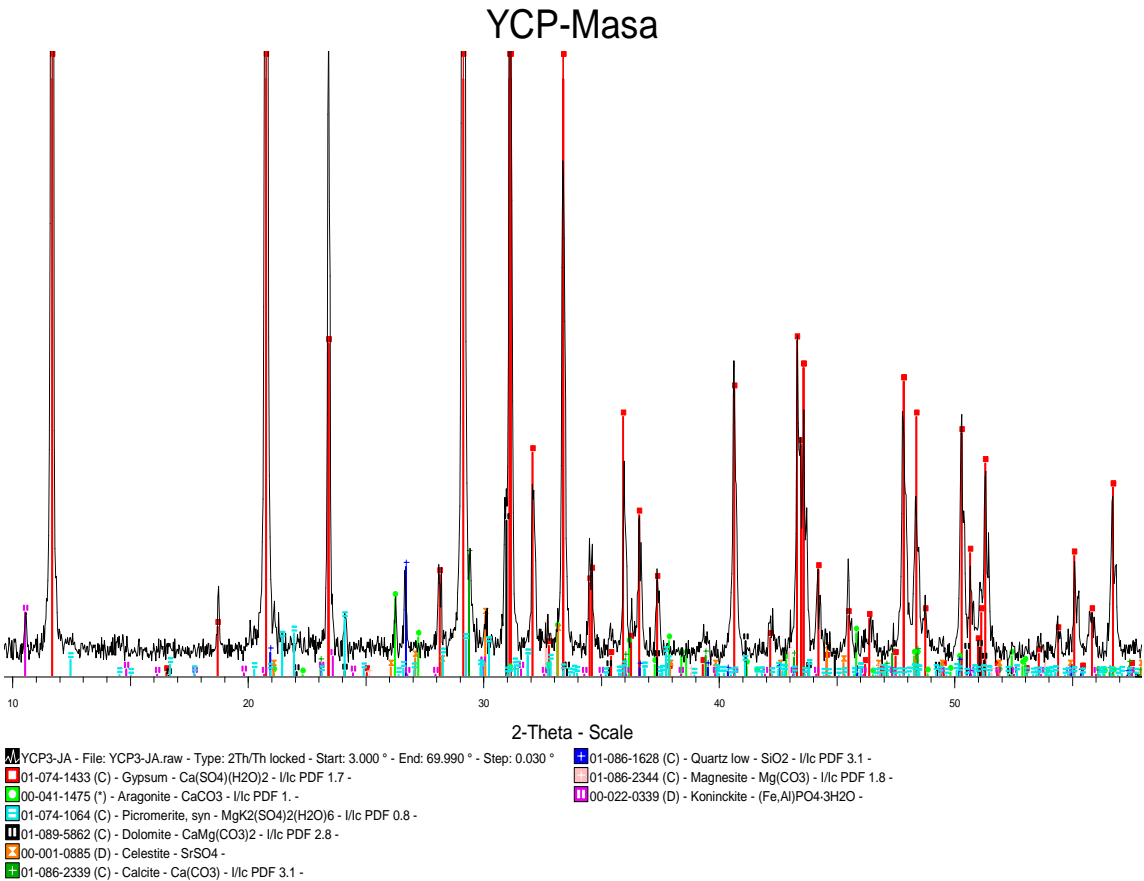
LUGAR DE LA MUESTRA ANTES DE EXTRACCIÓN



IMAGEN DE LA CAPA EXTERIOR



LUGAR DE LA MUESTRA TRAS LA EXTRACCIÓN



CAPA DE LA MUESTRA	Nº DE CAPAS	ESPESOR	PROBABLE APLICACIÓN
YCP	0	-	-

YESERÍAS DE TRADICIÓN ISLÁMICA DEL REAL ALCÁZAR DE SEVILLA (YPM)

AUTORES:

DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA:

REGISTRO ARQUEOLÓGICO:

PROCEDENCIA:

ORGANISMO QUE APORTA LA MUESTRA:

DATACIÓN:

MATERIAL DE LA MASA DE LA MUESTRA:

F. Javier Blasco / F. Javier Alejandro

YPM (sebka testero noroeste)

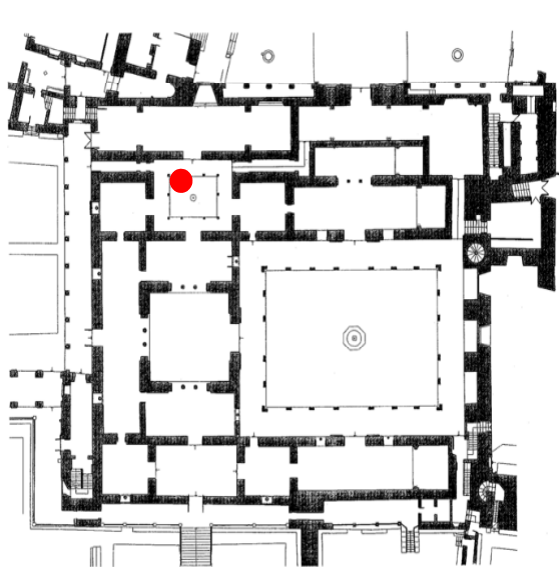
-

Palacio Mudéjar. Patio Muñecas.

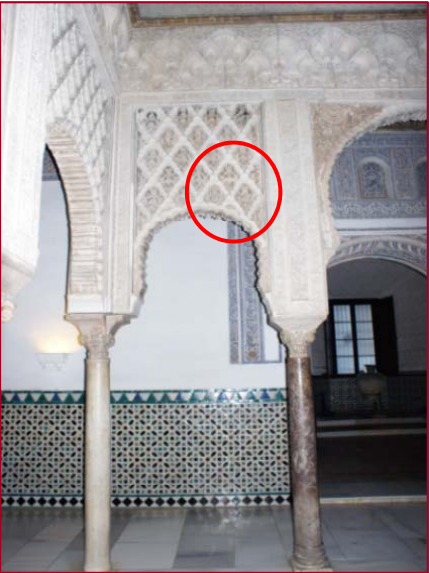
Patronato Real Alcázar de Sevilla.

Siglo XIV - XIX

Yeso dihidrato de media pureza (45% - 40% de SO₃).



COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)				COMPOSICIÓN MINERALÓGICA			PROPIEDADES DE LA MUESTRA	
				MINERAL	MASA	CAPA		
SiO ₂	1.79	K ₂ O	0.13	Yeso dihidrato CaSO ₄ · 2H ₂ O	Muy abundante	Muy Abundante	Densidad Real Aprox.(gr/cm ³)	2.37
Al ₂ O ₃	0.40	SrO	0.22	Anhidrita Ca SO ₄	Indicios	Indicios	Densidad Aparente (gr/cm ³)	0.97
Fe ₂ O ₃	0.27	P ₂ O ₅	0.01	Aragonito CaCO ₃	Indicios	Indicios	Porosidad Abierta (%)	59.0
MnO	0.01	SO ₃	41.01	Calcita CaCO ₃	Indicios	Indicios	Dureza (shore)	67.0
MgO	0.98	PC	21.88	Dolomita Ca Mg (CO ₃) ₂	Indicios	Indicios	Impurezas (%)	2.78
CaO	31.32	Total	97.88	Cuarzo SiO ₂	Indicios	Indicios		
Na ₂ O	0.05			Magnesita MgCO ₃	Indicios			



LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA



LUGAR DE LA MUESTRA ANTES DE LA EXTRACCIÓN

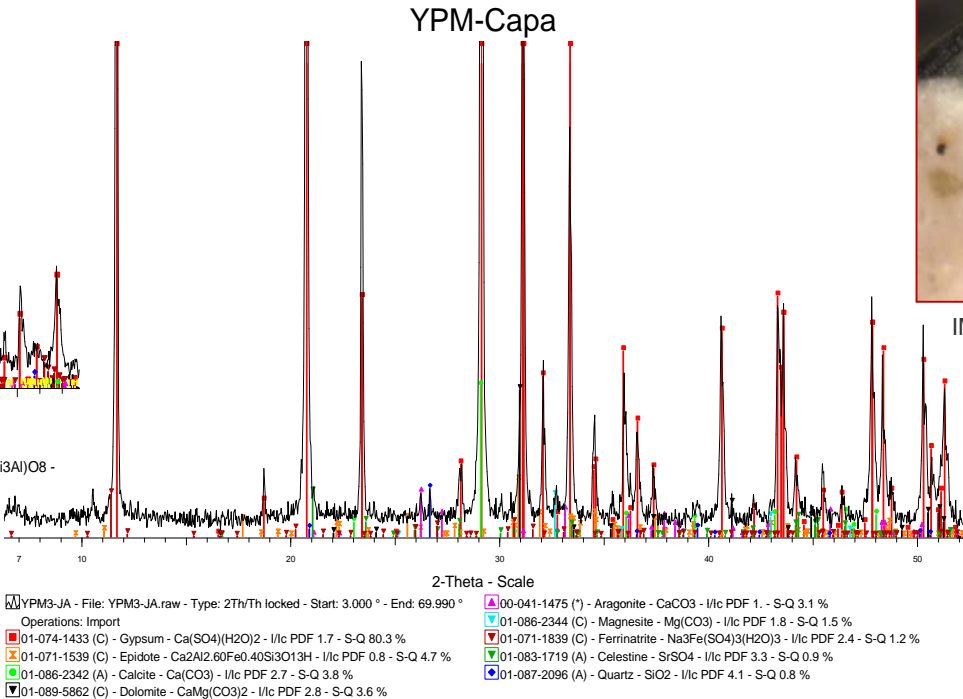
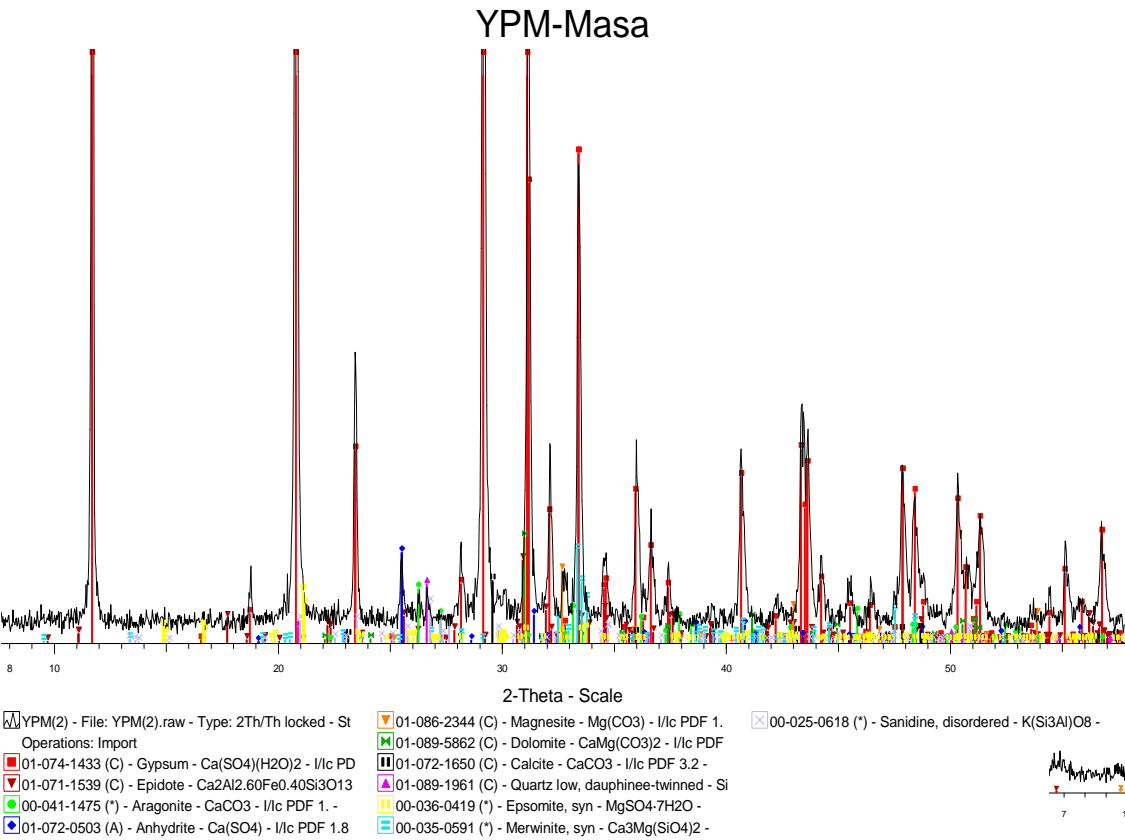


IMAGEN DE LA CAPA EXTERIOR



LUGAR DE LA MUESTRA TRAS LA EXTRACCIÓN

CAPA DE LA MUESTRA	Nº DE CAPAS	ESPESOR	PROBABLE APLICACIÓN
YPM	0	-	-

CAPA DE LA MUESTRA	Nº DE CAPAS	ESPESOR	PROBABLE APLICACIÓN
YSE-R	Capa Roja	50-100 micras	Bermellón (Cinabrio)
YSE-I	Capa Transparente	150-300 micras	Yeso
YSE-A	Capa azul	100-200 micras	Azul ultramar Azurita

YESERÍAS DE TRADICIÓN ISLÁMICA DEL REAL ALCÁZAR DE SEVILLA (YPY2)

AUTORES:

DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA:

REGISTRO ARQUEOLÓGICO:

PROCEDENCIA:

ORGANISMO QUE APORTA LA MUESTRA:

DATACIÓN:

MATERIAL DE LA MASA DE LA MUESTRA:

F. Javier Blasco / F. Javier Alejandro

YPY2 (zona de sebka restaurada)

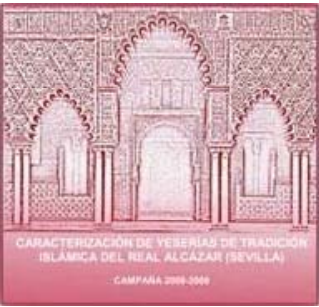
-

Palacio Almohade. Patio del Yeso (Zona Restaurada)

Patronato Real Alcázar de Sevilla.

Siglo XX

Yeso dihidrato de media pureza (45% - 40% de SO₃).



COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)				COMPOSICIÓN MINERALÓGICA			PROPIEDADES DE LA MUESTRA	
				MINERAL	MASA	CAPA		
SiO ₂	0.45	K ₂ O	0.04	Yeso dihidrato CaSO ₄ · 2H ₂ O	Muy abundante	Muy abundante	Densidad Real Aprox.(gr/cm ³)	2.30
Al ₂ O ₃	0.16	SrO	0.15	Anhidrita Ca SO ₄	No detectado	No detectado	Densidad Aparente (gr/cm ³)	1.06
Fe ₂ O ₃	0.06	P ₂ O ₅	N.D.	Aragonito CaCO ₃	Indicios	Indicios	Porosidad Abierta (%)	50.0
MnO	0.00	SO ₃	43.78	Calcita CaCO ₃	Indicios	Indicios	Dureza (shore)	75.0
MgO	1.68	PC	21.38	Dolomita Ca Mg (CO ₃) ₂	Indicios	Indicios	Impurezas (%)	8.19
CaO	33.76	Total	101.27	Cuarzo SiO ₂	Indicios	Indicios		
Na ₂ O	0.01			Magnesita MgCO ₃	No detectado			



LUGAR DE LA MUESTRA ANTES DE LA EXTRACCIÓN

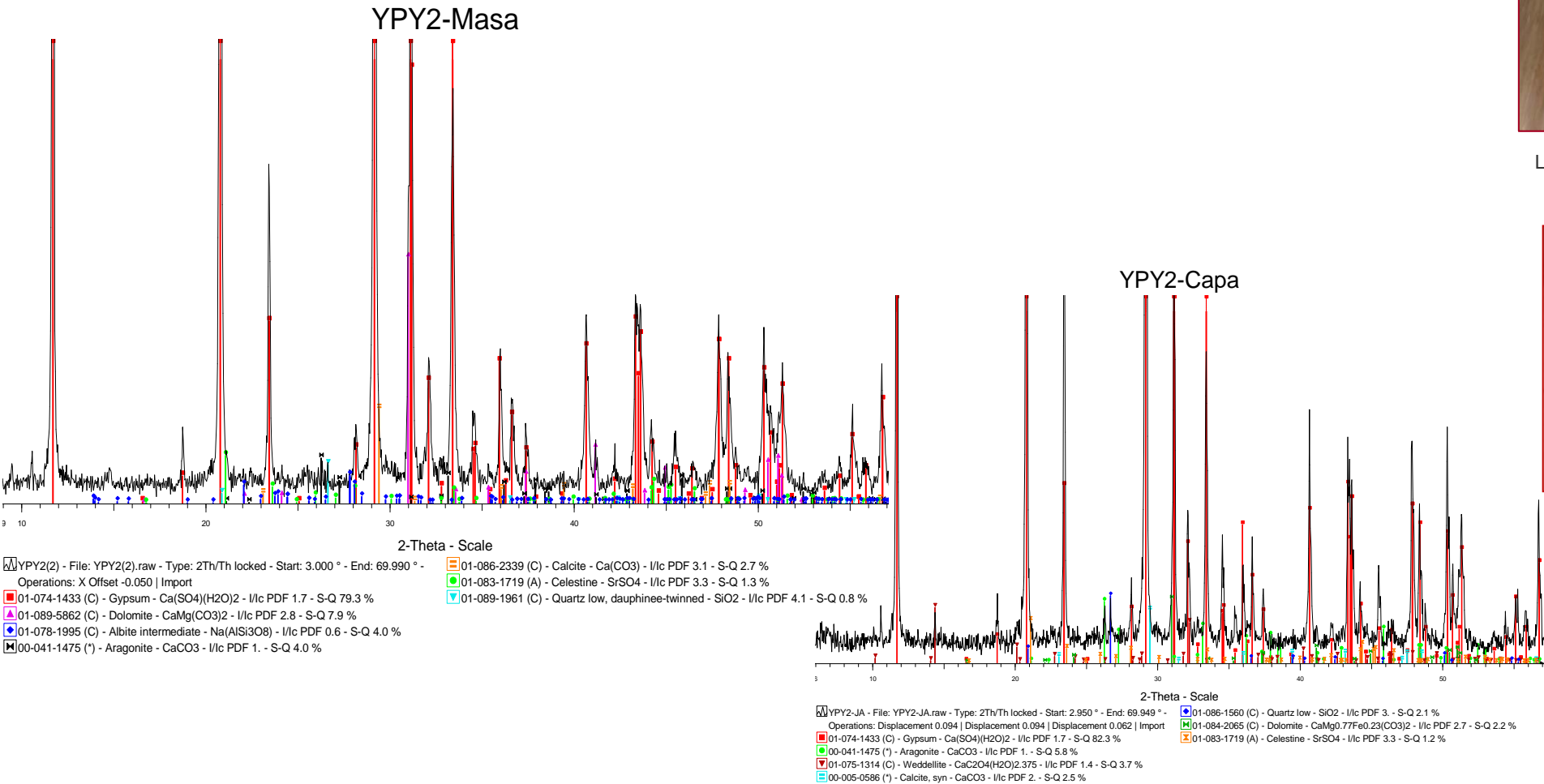
LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA



IMAGEN DE LA CAPA EXTERIOR



LUGAR DE LA MUESTRA TRAS LA EXTRACCIÓN



CAPA DE LA MUESTRA	Nº DE CAPAS	ESPESOR	PROBABLE APLICACIÓN
YPY2	0	-	-

YESERÍAS DE TRADICIÓN ISLÁMICA DEL REAL ALCÁZAR DE SEVILLA

AUTORES: F. Javier Blasco / F. Javier Alejandro

DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA: YSJ2 (arco acceso desde patio de montería)

REGISTRO ARQUEOLÓGICO: -

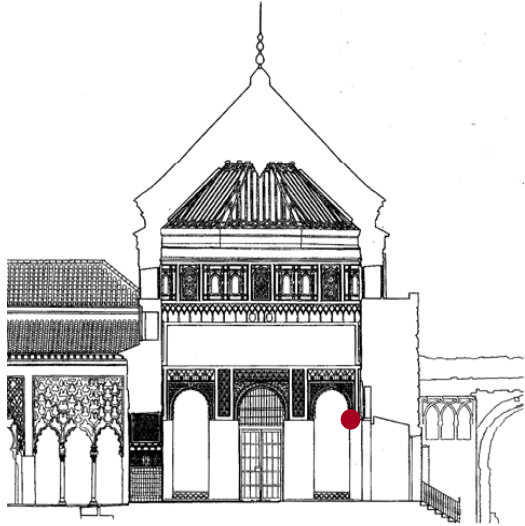
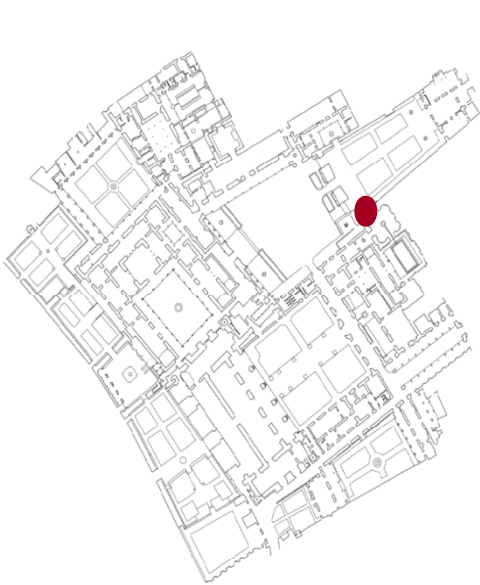
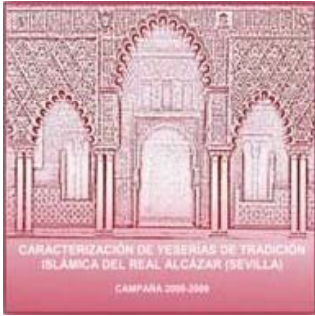
PROCEDENCIA: Palacio Almohade. Sala de Justicia
(acceso desde Montería)

ORGANISMO QUE APORTA LA MUESTRA: Patronato Real Alcázar de Sevilla.

DATACIÓN: Siglo XIV

MATERIAL DE LA MASA DE LA MUESTRA: Yeso dihidrato de media pureza (45% - 40% de SO₃).

COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)				COMPOSICIÓN MINERALÓGICA			PROPIEDADES DE LA MUESTRA	
				MINERAL	MASA	CAPA		
SiO ₂	1.84	K ₂ O	0.09	Yeso dihidrato CaSO ₄ · 2H ₂ O	Muy abundante	Muy Abundante	Densidad Real Aprox.(gr/cm ³)	2.30
Al ₂ O ₃	0.34	SrO	0.24	Anhidrita Ca SO ₄	No detectado	No detectado	Densidad Aparente (gr/cm ³)	1.15
Fe ₂ O ₃	0.18	P ₂ O ₅	0.01	Aragonito CaCO ₃	Indicios	Indicios	Porosidad Abierta (%)	49.7
MnO	0.00	SO ₃	42.08	Calcita CaCO ₃	Indicios	Indicios	Dureza (shore)	74.0
MgO	0.87	PC	21.97	Dolomita Ca Mg (CO ₃) ₂	Indicios	Indicios	Impurezas (%)	3.72
CaO	30.14	Total	97.54	Cuarzo SiO ₂	Indicios	Indicios		
Na ₂ O	0.04			Magnesita MgCO ₃	Indicios			



LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA



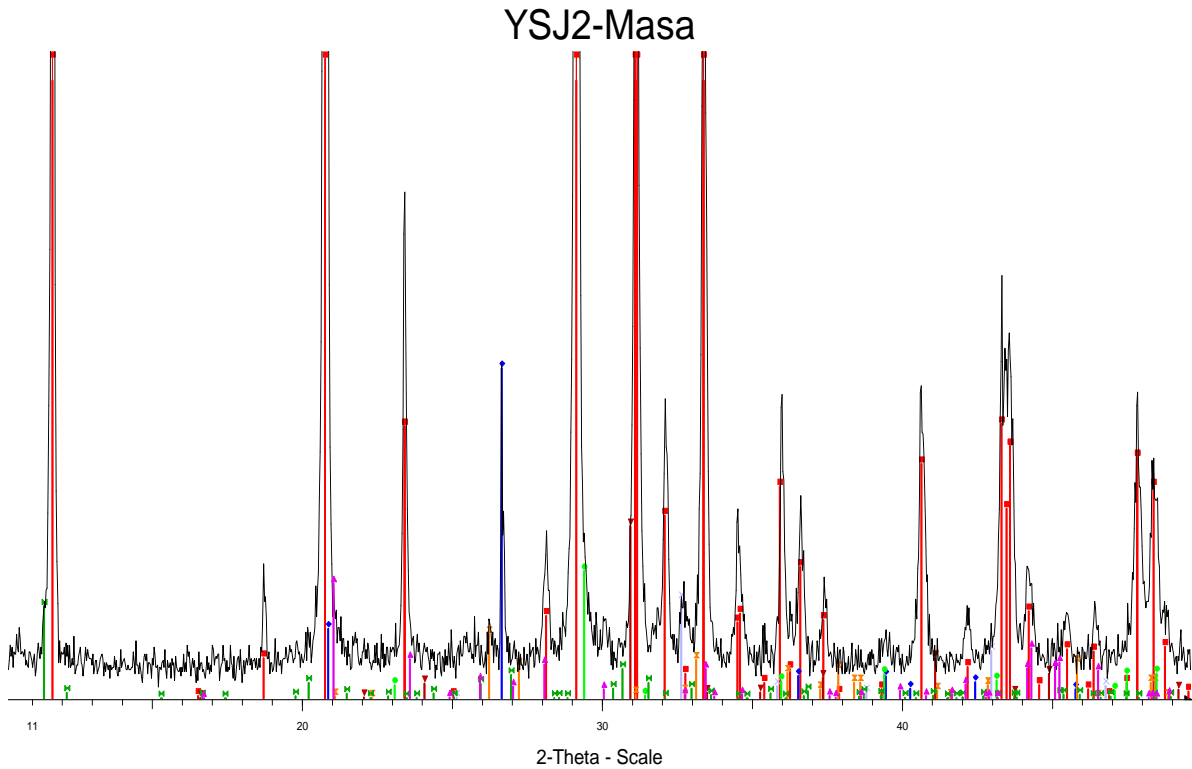
LUGAR DE LA MUESTRA ANTES DE LA EXTRACCIÓN



IMAGEN DE LA CAPA EXTERIOR



LUGAR DE LA MUESTRA TRAS LA EXTRACCIÓN



YSJ2(2) - File: YSJ2(2).raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 69.990 ° - Operations: Import

01-074-1433 (C) - Gypsum - Ca(SO₄)(H₂O)₂ - I/Ic PDF 1.7 - S-Q 76.7 % - F30=419

01-079-1910 (C) - Quartz - SiO₂ - I/Ic PDF 3.1 - S-Q 6.2 % - F28=1000(0.0001,29)

00-041-1475 (*) - Aragonite - CaCO₃ - I/Ic PDF 1. - S-Q 3.7 % - F30=217(0.0041,34)

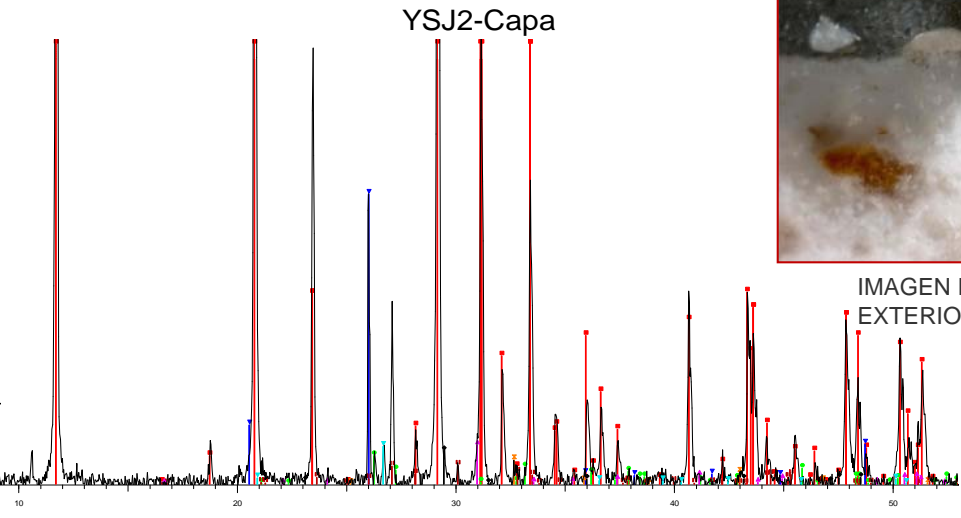
01-084-2065 (C) - Dolomite - CaMg_{0.77}Fe_{0.23}(CO₃)₂ - I/Ic PDF 2.7 - S-Q 3.7 % - F

01-086-2344 (C) - Magnesite - Mg(CO₃) - I/Ic PDF 1.8 - S-Q 3.1 % - F22=1000(0.00

01-072-1214 (A) - Calcite, syn - CaCO₃ - I/Ic PDF 3.2 - S-Q 2.3 % - F30=1000(0.00

01-083-2065 (C) - Ferrinatrile - Na₃(Fe(SO₄)₃)(H₂O)₃ - I/Ic PDF 2.4 - S-Q 2.2 % -

01-083-1719 (A) - Celestine - SrSO₄ - I/Ic PDF 3.3 - S-Q 2.0 % - F30=1000(0.0009,



YSJ23-JA - File: YSJ23-JA.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 69.990 ° - Operations: Background 0.026,1.000 | Import

01-074-1433 (C) - Gypsum - Ca(SO₄)(H₂O)₂ - I/Ic PDF 1.7 - S-Q 83.6 %

01-080-2146 (C) - Quartz - SiO₂ - I/Ic PDF 3. - S-Q 8.6 %

00-041-1475 (*) - Aragonite - CaCO₃ - I/Ic PDF 1. - S-Q 2.5 %

01-086-2344 (C) - Magnesite - Mg(CO₃) - I/Ic PDF 1.8 - S-Q 1.2 %

01-074-2035 (A) - Celestine - SrSO₄ - I/Ic PDF 2. - S-Q 0.8 %

01-083-0578 (A) - Calcite - Ca(CO₃) - I/Ic PDF 3.2 - S-Q 0.9 %

01-089-5862 (C) - Dolomite - CaMg(CO₃)₂ - I/Ic PDF 2.8 - S-Q 1.3 %

00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - I/Ic PDF 3.4 - S-Q 1.0 %

CAPA DE LA MUESTRA	Nº DE CAPAS	ESPESOR	PROBABLE APLICACIÓN
YSJ2	0	-	-

YESERÍAS DE TRADICIÓN ISLÁMICA DEL REAL ALCÁZAR DE SEVILLA

AUTORES: F. Javier Blasco / F. Javier Alejandro

DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA: YPS3 (separación arcos)

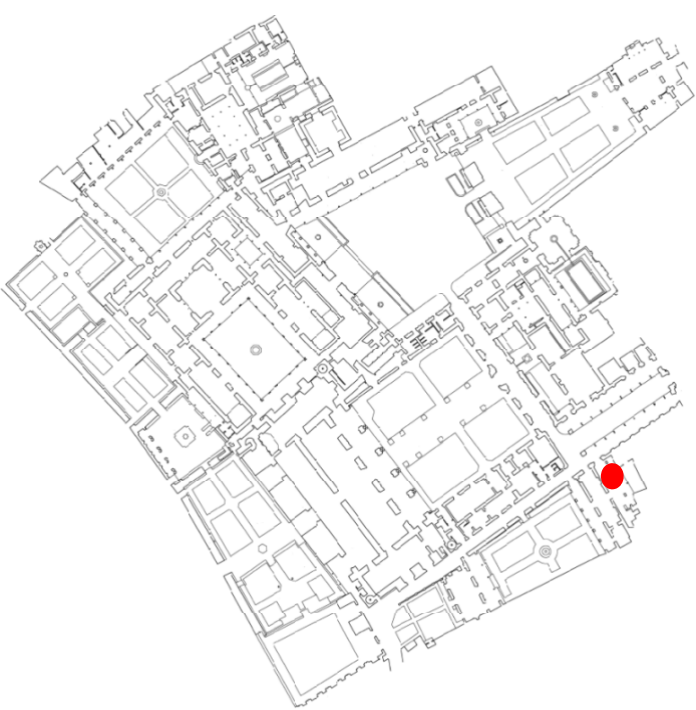
REGISTRO ARQUEOLÓGICO: -

PROCEDENCIA: Apeadero. Patio del Sol (Zona Original).

ORGANISMO QUE APORTA LA MUESTRA: Patronato Real Alcázar de Sevilla.

DATACIÓN: Siglo XIII-XIV

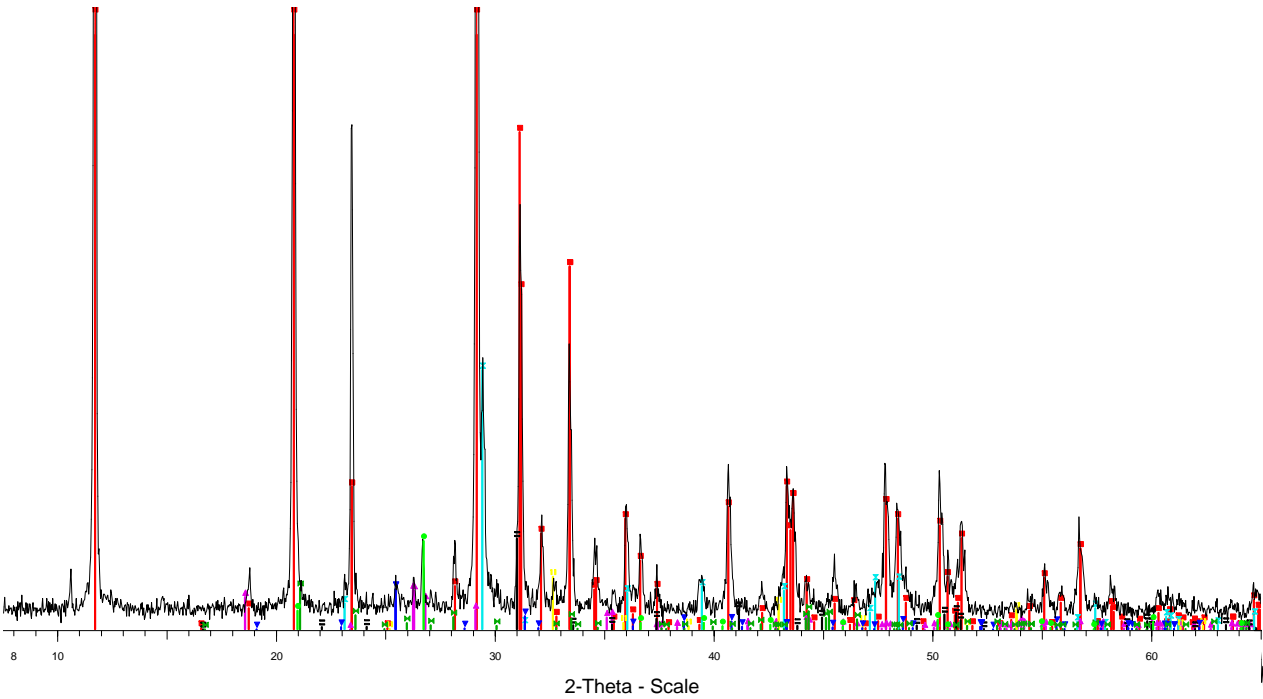
MATERIAL DE LA MASA DE LA MUESTRA: Yeso dihidrato de baja pureza (<40%) de SO₃.



LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA

COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)				COMPOSICIÓN MINERALÓGICA			PROPIEDADES DE LA MUESTRA	
				MINERAL	MASA	CAPA		
SiO ₂	3,17	K ₂ O	0.29	Yeso dihidrato CaSO ₄ · 2H ₂ O	Muy abundante	Muy Abundante	Densidad Real Aprox.(gr/cm ³)	2.38
Al ₂ O ₃	0.85	SrO	0.15	Anhidrita Ca SO ₄	Indicios	Indicios	Densidad Aparente (gr/cm ³)	1.29
Fe ₂ O ₃	0.38	P ₂ O ₅	0.00	Aragonito CaCO ₃	Indicios	Indicios	Porosidad Abierta (%)	49.1
MnO	0.00	SO ₃	37.62	Calcita CaCO ₃	Medio	Medio	Dureza (shore)	73.0
MgO	1.11	PC	23.29	Dolomita Ca Mg (CO ₃) ₂	Indicios	Indicios	Impurezas (%)	17.29
CaO	31.35	Total	101.05	Cuarzo SiO ₂	Indicios	Indicios		
Na ₂ O	0.03							

YPS3-Masa



YPS3(3)-JA - File: YPS3(3)-JA.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 69.
Operations: X Offset -0.050 | Import

- 01-074-1433 (C) - Gypsum - Ca(SO₄)(H₂O)₂ - I/lc PDF 1.7 - S-Q 73.9 % - F30=419
- 01-086-2339 (C) - Calcite - Ca(CO₃) - I/lc PDF 3.1 - S-Q 8.8 % - F30=1000(0.0001,
- 01-080-0545 (C) - Kieserite - Mg(SO₄)(H₂O) - I/lc PDF 1.1 - S-Q 3.9 % - F30=131(0
- 01-089-5862 (C) - Dolomite - CaMg(CO₃)₂ - I/lc PDF 2.8 - S-Q 3.5 % - F30=1000(0.
- 01-078-2442 (A) - Magnesite - MgCO₃ - I/lc PDF 1.8 - S-Q 3.1 % - F22=404(0.0020,
- 01-086-1628 (C) - Quartz low - SiO₂ - I/lc PDF 3.1 - S-Q 3.0 % - F29=1000(0.0001,
- 01-072-0916 (C) - Anhydrite - Ca(SO₄) - I/lc PDF 1.8 - S-Q 2.4 % - F30=125(0.0063
- 01-083-1719 (A) - Celestine - SrSO₄ - I/lc PDF 3.3 - S-Q 1.3 % - F30=1000(0.0009,

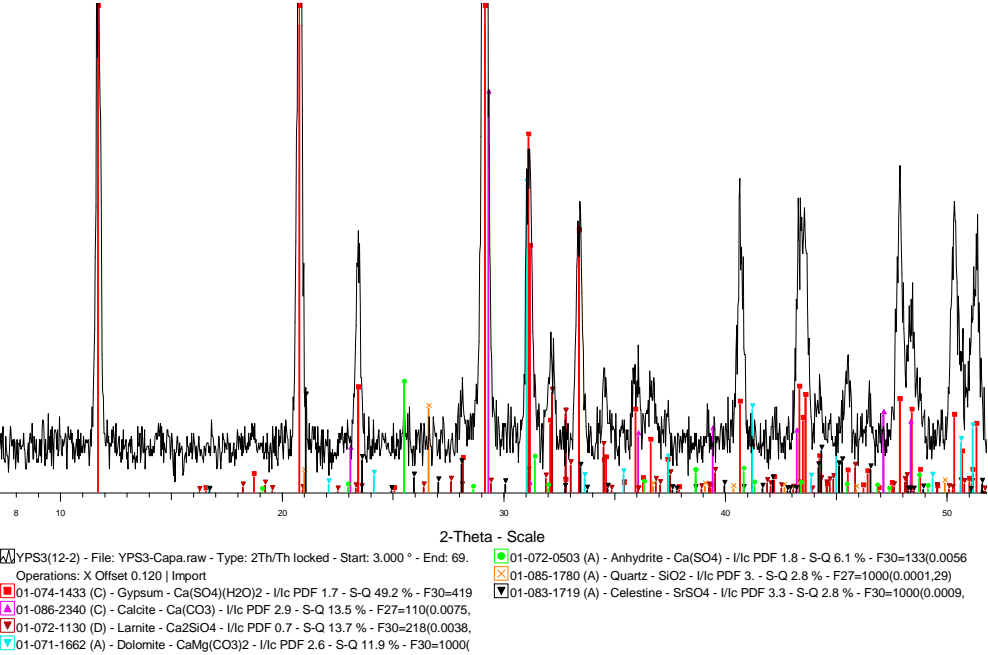


LUGAR DE LA MUESTRA ANTES DE EXTRACCIÓN



LUGAR DE LA MUESTRA TRAS LA EXTRACCIÓN

YPS3-Capa



YPS3(12-2) - File: YPS3-Capa.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 69.
Operations: X Offset 0.120 | Import

- 01-074-1433 (C) - Gypsum - Ca(SO₄)(H₂O)₂ - I/lc PDF 1.7 - S-Q 49.2 % - F30=419
- 01-086-2340 (C) - Calcite - Ca(CO₃) - I/lc PDF 2.9 - S-Q 13.5 % - F27=110(0.0075,
- 01-072-1130 (D) - Larnite - Ca₂SiO₄ - I/lc PDF 0.7 - S-Q 13.7 % - F30=218(0.0038,
- 01-071-1662 (A) - Dolomite - CaMg(CO₃)₂ - I/lc PDF 2.6 - S-Q 11.9 % - F30=1000(
- 01-072-0503 (A) - Anhydrite - Ca(SO₄) - I/lc PDF 1.8 - S-Q 6.1 % - F30=133(0.0056
- 01-085-1780 (A) - Quartz - SiO₂ - I/lc PDF 3. - S-Q 2.8 % - F27=1000(0.0001,29)
- 01-083-1719 (A) - Celestine - SrSO₄ - I/lc PDF 3.3 - S-Q 2.8 % - F30=1000(0.0009,



IMAGEN DE LA CAPA EXTERIOR

CAPA DE LA MUESTRA	Nº DE CAPAS	ESPESOR
YPS3	0	-

YESERÍAS DE TRADICIÓN ISLÁMICA DEL REAL ALCÁZAR DE SEVILLA

AUTORES: F. Javier Blasco / F. Javier Alejandre

DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA: YSR (arco este a Patio Muñecas)

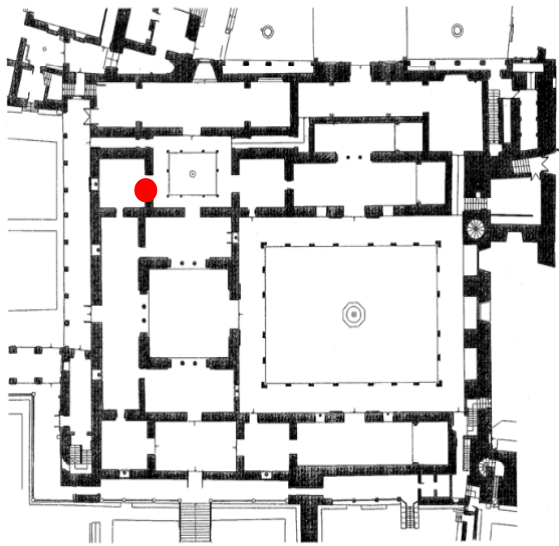
REGISTRO ARQUEOLÓGICO: -

PROCEDENCIA: Palacio Mudéjar. Sala de los Reyes Católicos

ORGANISMO QUE APORTA LA MUESTRA: Patronato Real Alcázar de Sevilla.

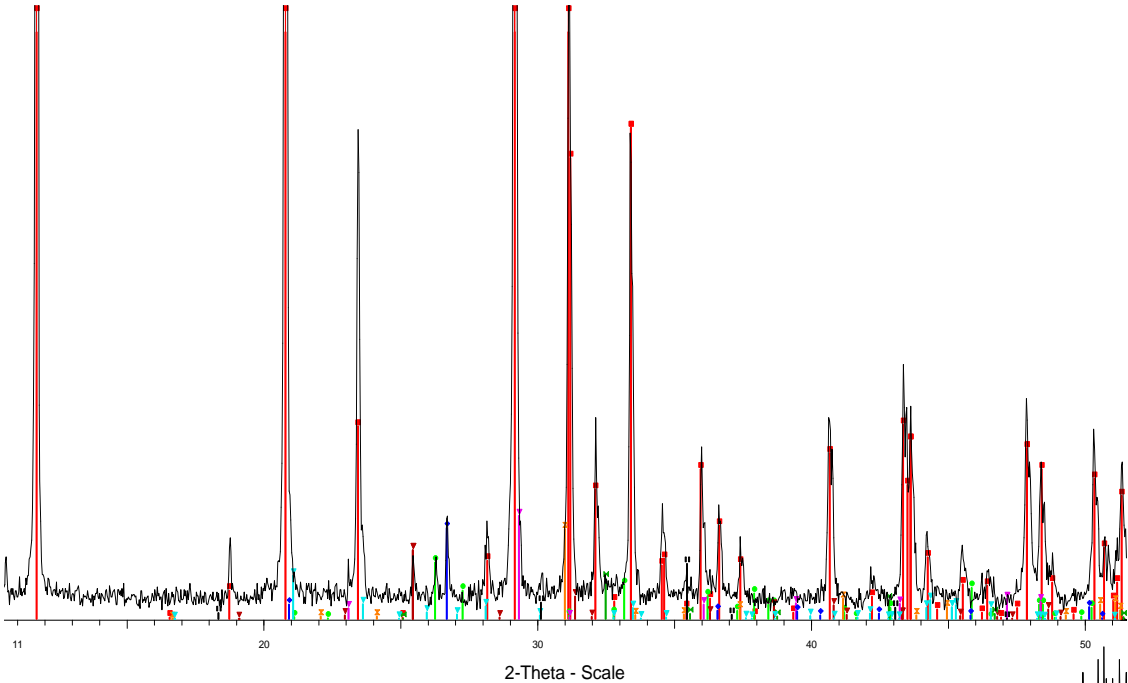
DATACIÓN: Siglo XVI-XIX

MATERIAL DE LA MASA DE LA MUESTRA: Yeso dihidrato de media pureza (45% - 40% de SO₃).



COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)				COMPOSICIÓN MINERALÓGICA			PROPIEDADES DE LA MUESTRA	
				MINERAL	MASA	CAPA		
SiO ₂	1.86	K ₂ O	0.11	Yeso dihidrato CaSO ₄ · 2H ₂ O	Muy abundante	Muy Abundante	Densidad Real Aprox.(gr/cm ³)	2.28
Al ₂ O ₃	0.48	SrO	0.21	Anhidrita Ca SO ₄	Indicios	Indicios	Densidad Aparente (gr/cm ³)	1.12
Fe ₂ O ₃	0.35	P ₂ O ₅	0.00	Aragonito CaCO ₃	Indicios	Indicios	Porosidad Abierta (%)	50.9
MnO	0.00	SO ₃	40.29	Calcita CaCO ₃	Indicios	Indicios	Dureza (shore)	73.0
MgO	0.74	PC	22.05	Dolomita Ca Mg (CO ₃) ₂	Indicios	Indicios	Impurezas (%)	3.33
CaO	30.74	Total	96.84	Cuarzo SiO ₂	Indicios	Indicios		
Na ₂ O	0.01			Magnesita MgCO ₃	Indicios			

YSR Masa con SQ



YSR(15-10) - File: YSR(15-10)MAsa.raw - Type: 2Th/ Operations: Import

01-074-1433 (C) - Gypsum - Ca(SO4)(H2O)2 - I/Ic PDF 1.8

01-072-0916 (C) - Anhydrite - Ca(SO4) - I/Ic PDF 1.8

01-086-2340 (C) - Calcite - Ca(CO3) - I/Ic PDF 2.9 - S

01-089-5862 (C) - Dolomite - CaMg(CO3)2 - I/Ic PDF 3.4 - S

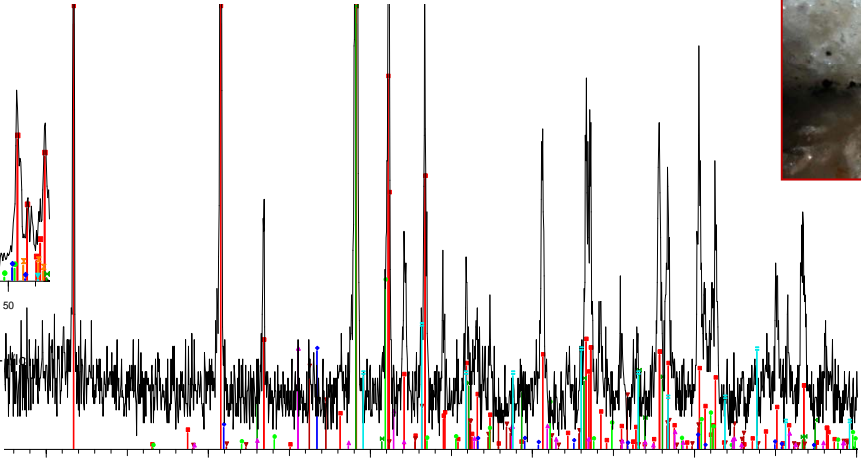
00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2 - I/Ic PDF 3.4 - S

01-086-2347 (C) - Magnesite - Mg(CO3) - I/Ic PDF 1.1

01-083-1719 (A) - Celestine - SrSO4 - I/Ic PDF 3.3 -

01-089-2355 (C) - Magnetite - synthetic - Fe3O4 -

YSR-CAPA



YSR-CAPA - File: YSR-CAPA.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 69.9

Operations: Import

01-074-1433 (C) - Gypsum - Ca(SO4)(H2O)2 - I/Ic PDF 1.7 - F30=419(0.0019,37)

01-086-2342 (A) - Calcite - Ca(CO3) - I/Ic PDF 2.7 - F30=1000(0.0001,31)

01-075-2230 (C) - Aragonite - Ca(CO3) - I/Ic PDF 1.1 - F30=554(0.0017,31)

01-084-1208 (A) - Dolomite - CaMg(CO3)2 - I/Ic PDF 2.5 - F30=1000(0.0001,31)

01-074-2421 (A) - Anhydrite - Ca(SO4) - I/Ic PDF 1.7 - F30=90(0.0077,43)

01-086-1628 (C) - Quartz low - SiO2 - I/Ic PDF 3.1 - F29=1000(0.0001,29)

00-002-0905 (D) - Magnesite - MgCO3 - F11= 1(0.3020,35)



LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA



LUGAR DE LA MUESTRA ANTES DE LA EXTRACCIÓN



IMAGEN DE LA CAPA EXTERIOR

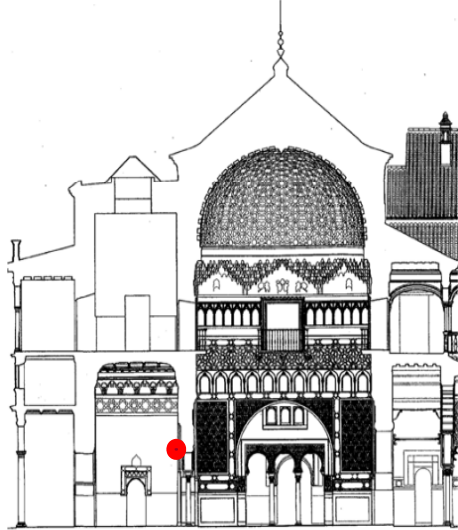
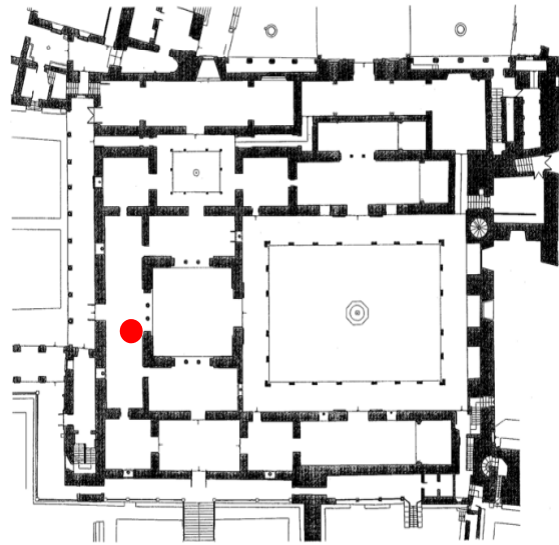


LUGAR DE LA MUESTRA TRAS LA EXTRACCIÓN

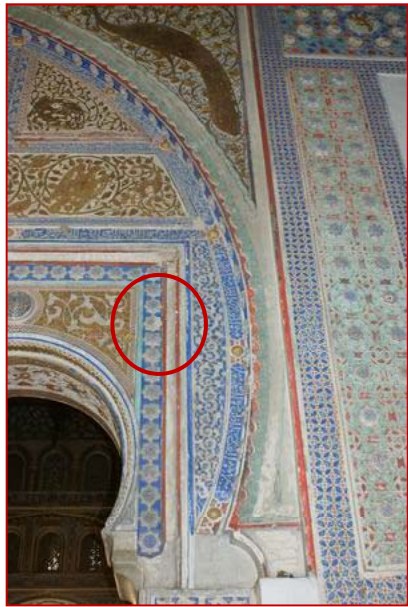
CAPA DE LA MUESTRA	Nº DE CAPAS	ESPESOR	PROBABLE APLICACIÓN
YSR	1	100-150 micras	Enjalbegado de yeso y cal
	1	750-1000 micras	Enjalbegado de yeso

YESERÍAS DE TRADICIÓN ISLÁMICA DEL REAL ALCÁZAR DE SEVILLA

AUTORES:	F. Javier Blasco / F. Javier Alejandre
DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA:	YSF (arco de los pavones)
REGISTRO ARQUEOLÓGICO:	-
PROCEDENCIA:	Palacio Mudéjar. Sala del Techo de Felipe II
ORGANISMO QUE APORTA LA MUESTRA:	Patronato Real Alcázar de Sevilla.
DATACIÓN:	Siglo XVI
MATERIAL DE LA MASA DE LA MUESTRA:	Yeso dihidrato de baja pureza (<40% de SO ₃).



COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)				COMPOSICIÓN MINERALÓGICA			PROPIEDADES DE LA MUESTRA	
				MINERAL	MASA	CAPA		
SiO ₂	3.54	K ₂ O	0.21	Yeso dihidrato CaSO ₄ · 2H ₂ O	Muy abundante	Medio	Densidad Real Aprox.(gr/cm ³)	2.34
Al ₂ O ₃	0.78	SrO	0.14	Anhidrita Ca SO ₄	Indicios	No detectado	Densidad Aparente (gr/cm ³)	1.22
Fe ₂ O ₃	0.54	P ₂ O ₅	0.03	Aragonito CaCO ₃	Indicios	Indicios	Porosidad Abierta (%)	47.8
MnO	0.01	SO ₃	36.14	Calcita CaCO ₃	Indicios	Muy Abundante	Dureza (shore)	75.0
MgO	0.86	PC	22.07	Dolomita Ca Mg (CO ₃) ₂	Indicios	Indicios	Impurezas (%)	7.62
CaO	33.52	Total	97.89	Cuarzo SiO ₂	Indicios	Indicios		
Na ₂ O	0.05			Magnesita MgCO ₃	Indicios			



LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA



LUGAR DE LA MUESTRA ANTES DE LA EXTRACCIÓN

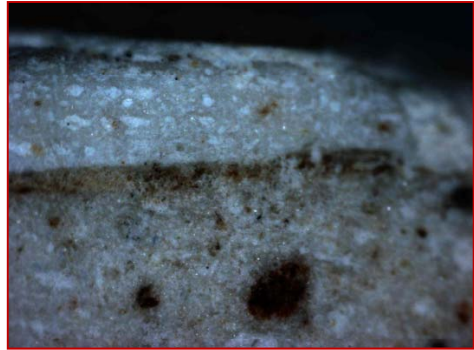
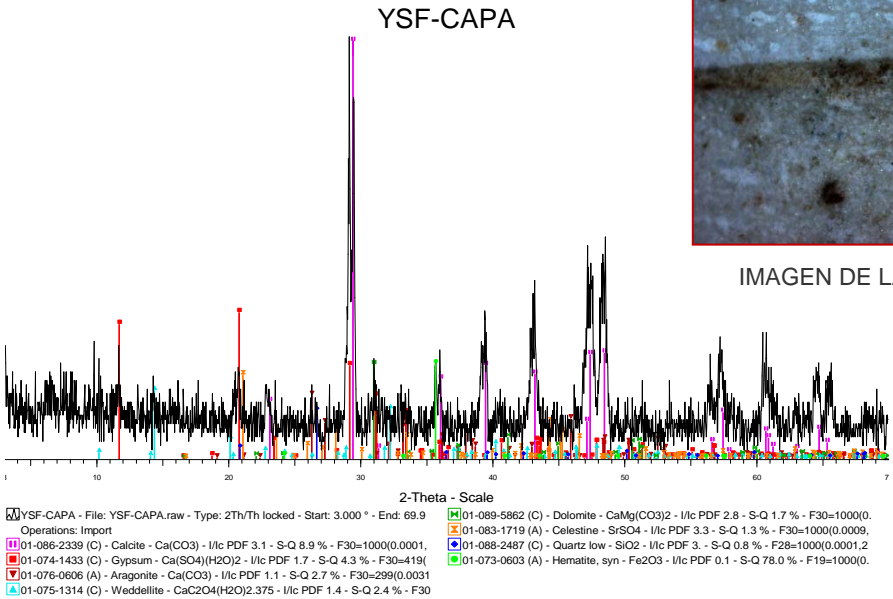
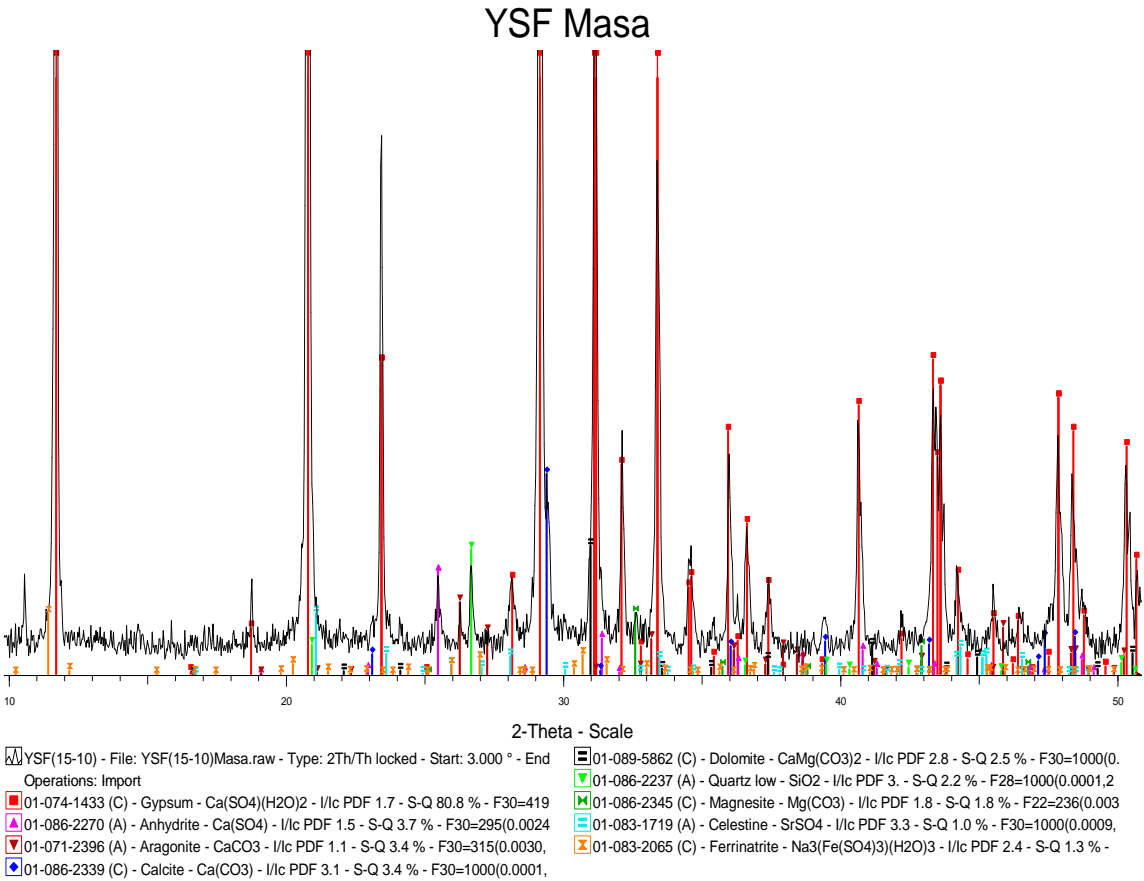


IMAGEN DE LA CAPA EXTERIOR



LUGAR DE LA MUESTRA TRAS LA EXTRACCIÓN



CAPA DE LA MUESTRA	Nº DE CAPAS	ESPESOR	PROBABLE APLICACIÓN
YSF	1	500-800 micras	Enjalbegado de cal

YESERÍAS DE TRADICIÓN ISLÁMICA DEL REAL ALCÁZAR DE SEVILLA

AUTORES: F. Javier Blasco / F. Javier Alejandre

DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA: YSC (arco separación alcoba)

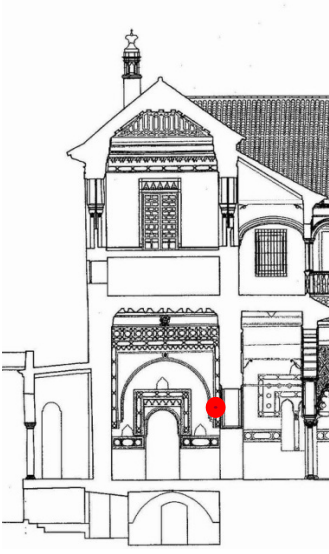
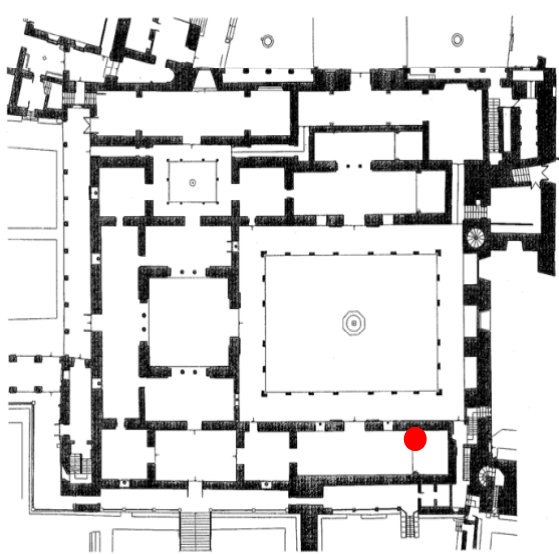
REGISTRO ARQUEOLÓGICO: -

PROCEDENCIA: Palacio Mudéjar. Sala del Techo de Carlos V

ORGANISMO QUE APORTA LA MUESTRA: Patronato Real Alcázar de Sevilla.

DATACIÓN: Siglo XIV - XVI

MATERIAL DE LA MASA DE LA MUESTRA: Yeso dihidrato de media pureza (45% - 40% de SO₃).

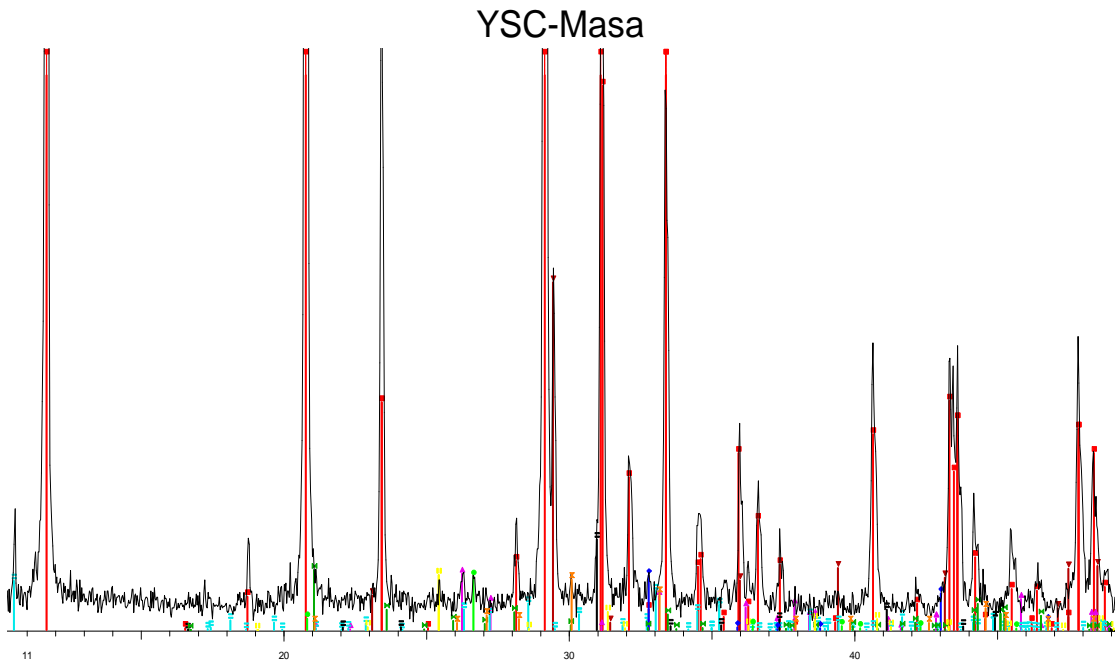


COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)				COMPOSICIÓN MINERALÓGICA			PROPIEDADES DE LA MUESTRA	
				MINERAL	MASA	CAPA		
SiO ₂	1.71	K ₂ O	0.10	Yeso dihidrato CaSO ₄ · 2H ₂ O	Muy abundante	Muy Abundante	Densidad Real Aprox.(gr/cm ³)	2.31
Al ₂ O ₃	0.48	SrO	0.30	Anhidrita Ca SO ₄	Indicios	No detectado	Densidad Aparente (gr/cm ³)	1.20
Fe ₂ O ₃	0.34	P ₂ O ₅	0.00	Aragonito CaCO ₃	Indicios	Indicios	Porosidad Abierta (%)	48.1
MnO	0.00	SO ₃	41.17	Calcita CaCO ₃	Indicios	Medi0	Dureza (shore)	74.0
MgO	0.57	PC	21.42	Dolomita Ca Mg (CO ₃) ₂	Indicios	Medio	Impurezas (%)	5.88
CaO	30.88	Total	96.98	Cuarzo SiO ₂	Indicios	Indicios		
Na ₂ O	0.01			Magnesita MgCO ₃	Indicios			

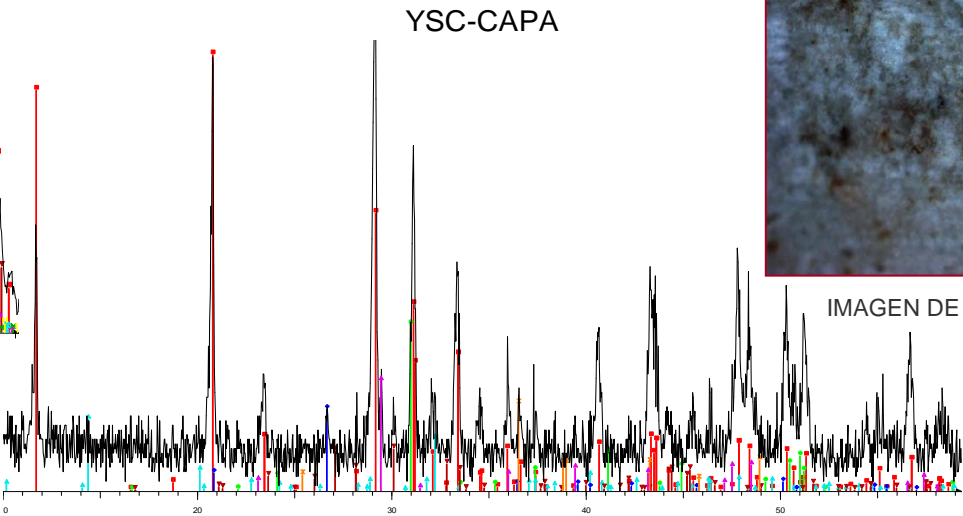


LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA

LUGAR DE LA MUESTRA ANTES DE LA EXTRA



YSC(15-10) - File: YSC(15-10)Masa.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 69.990 ° - Site
Operations: Import
01-074-1433 (C) - Gypsum - Ca(SO₄)(H₂O)₂ - I/Ic PDF 1.7 - F30=419(0.0019,37)
01-086-2334 (A) - Calcite - Ca(CO₃) - I/Ic PDF 3.2 - F30=1000(0.0001,30)
00-041-1475 (*) - Aragonite - CaCO₃ - I/Ic PDF 1. - F30=217(0.0041,34)
01-083-0735 (C) - Magnesiohombende ferrous - (Na₄K₀1)(Ca₁8Fe₂)(Mg₃1Fe₁5Al₄)(Si₇Al₀2
01-089-5862 (C) - Dolomite - CaMg(CO₃)₂ - I/Ic PDF 2.8 - F30=1000(0.0001,31)
00-003-0788 (D) - Magnesite - MgCO₃ - F16= 2(0.2550,29)
00-001-0885 (D) - Celestine - SrSO₄ - F20= 6(0.0550,65)
01-083-1719 (A) - Celestine - SrSO₄ - I/Ic PDF 3.3 - F30=1000(0.0009,32)
01-072-0916 (C) - Anhydrite - Ca(SO₄) - I/Ic PDF 1.8 - F30=125(0.0063,38)
01-088-2487 (C) - Quartz low - SiO₂ - I/Ic PDF 3. - F28=1000(0.0001,29)



YSC-CAPA - File: YSC-CAPA.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 69.990 ° - Step: 0.0
Operations: Import
01-074-1433 (C) - Gypsum - Ca(SO₄)(H₂O)₂ - I/Ic PDF 1.7 - F30=419(0.0019,37)
01-086-2334 (A) - Calcite - Ca(CO₃) - I/Ic PDF 3.2 - F30=1000(0.0001,30)
00-041-1475 (*) - Aragonite - CaCO₃ - I/Ic PDF 1. - F30=217(0.0041,34)
01-083-0735 (C) - Magnesiohombende ferrous - (Na₄K₀1)(Ca₁8Fe₂)(Mg₃1Fe₁5Al₄)(Si₇Al₀2
01-089-5862 (C) - Dolomite - CaMg(CO₃)₂ - I/Ic PDF 2.8 - F30=1000(0.0001,31)
00-003-0788 (D) - Magnesite - MgCO₃ - F16= 2(0.2550,29)
00-001-0885 (D) - Celestine - SrSO₄ - F20= 6(0.0550,65)
01-083-1719 (A) - Celestine - SrSO₄ - I/Ic PDF 3.3 - F30=1000(0.0009,32)
01-072-0916 (C) - Anhydrite - Ca(SO₄) - I/Ic PDF 1.8 - F30=125(0.0063,38)
01-088-2487 (C) - Quartz low - SiO₂ - I/Ic PDF 3. - F28=1000(0.0001,29)
00-047-1743 (C) - Calcite - CaCO₃ - F30=1000(0.0003,33)



IMAGEN DE LA CAPA EXTERIOR



LUGAR DE LA MUESTRA TRAS LA EXTRACCIÓN

CAPA DE LA MUESTRA	Nº DE CAPAS	ESPESOR	PROBABLE APLICACIÓN
YSC	0	-	-

YESERÍAS DE TRADICIÓN ISLÁMICA DEL REAL ALCÁZAR DE SEVILLA (YDR)

AUTORES:

F. Javier Blasco / F. Javier Alejandro

DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA:

YDR (arco de testero este)

REGISTRO ARQUEOLÓGICO:

—

PROCEDENCIA:

Palacio Mudéjar. Dormitorio del Rey

ORGANISMO QUE APORTA LA MUESTRA:

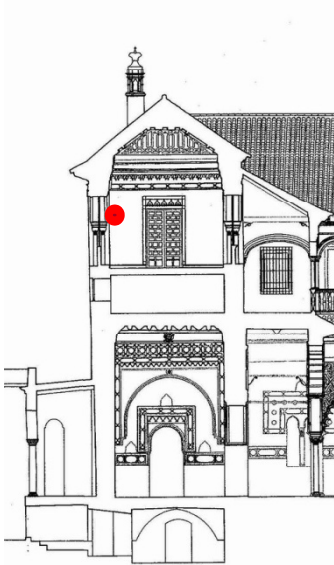
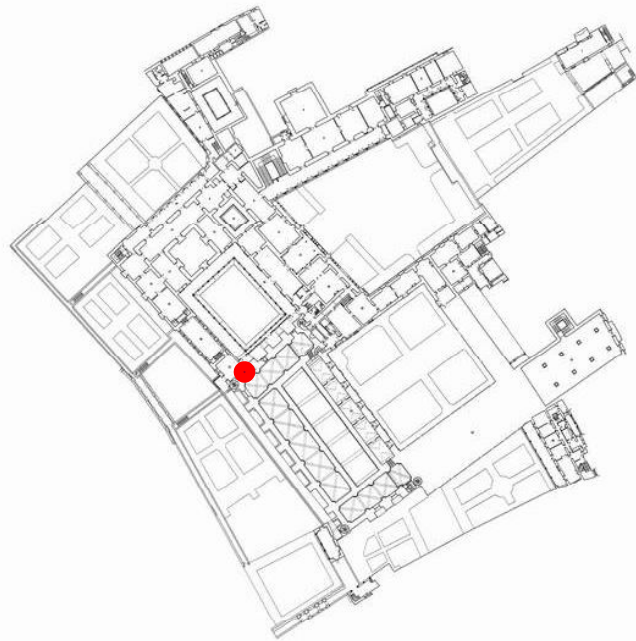
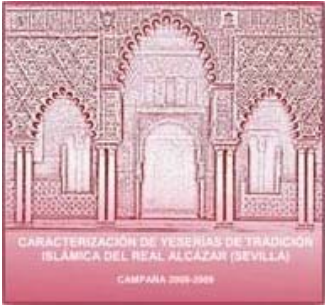
Patronato Real Alcázar de Sevilla.

DATACIÓN:

Siglo XIV - XVI

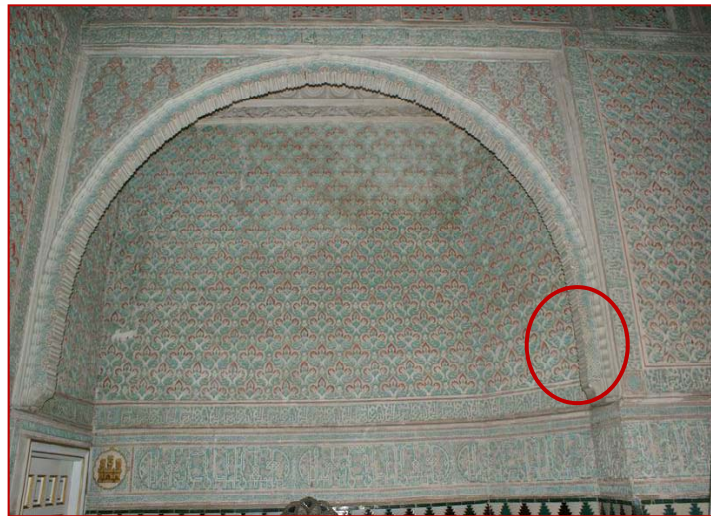
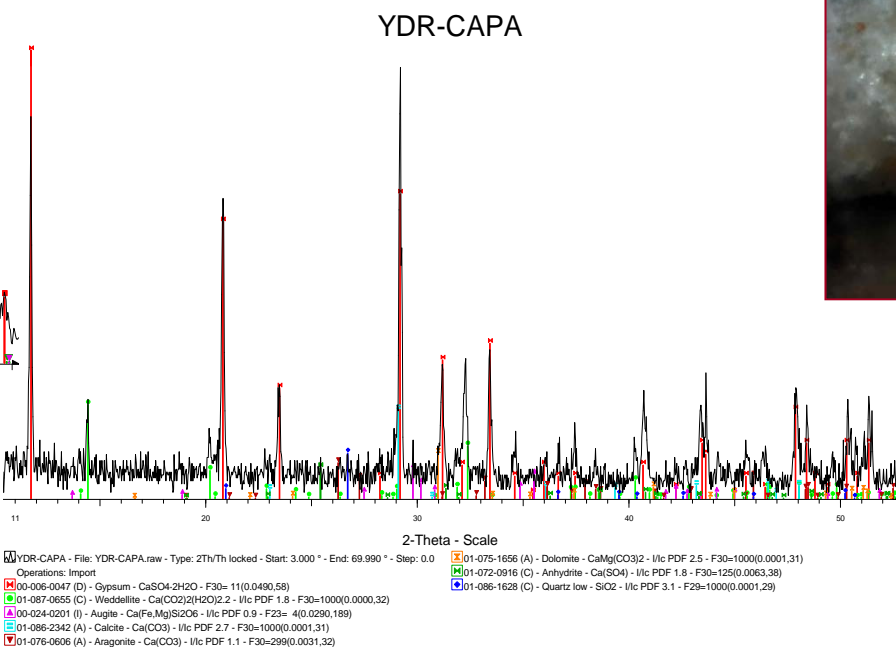
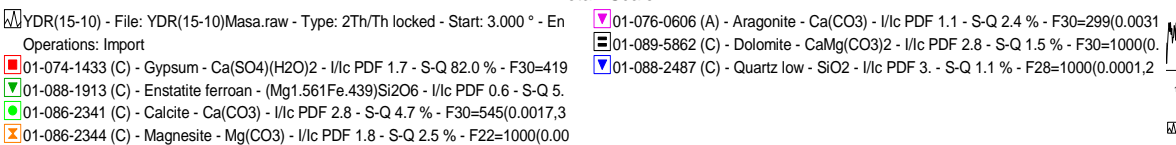
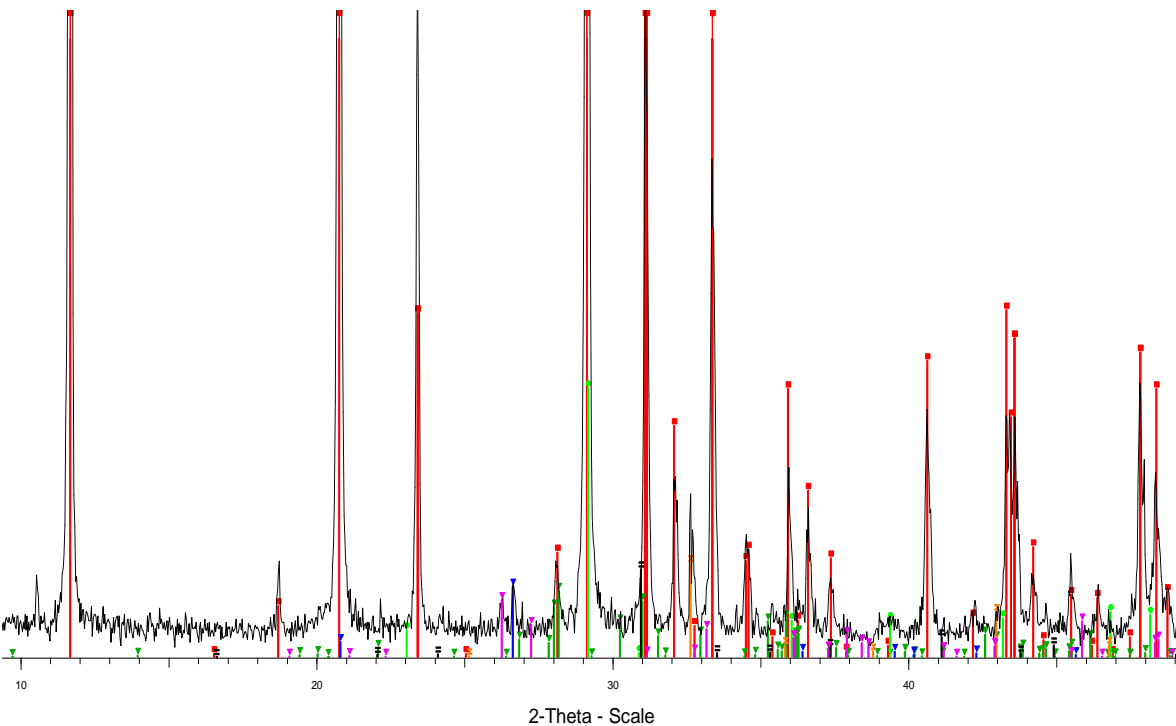
MATERIAL DE LA MASA DE LA MUESTRA:

Yeso dihidrato de baja pureza (< 40% de SO₃).



COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)				COMPOSICIÓN MINERALÓGICA			PROPIEDADES DE LA MUESTRA	
				MINERAL	MASA	CAPA		
SiO ₂	3.34	K ₂ O	0.16	Yeso dihidrato CaSO ₄ · 2H ₂ O	Muy abundante	Muy abundante	Densidad Real Aprox.(gr/cm ³)	2.30
Al ₂ O ₃	0.84	SrO	0.22	Anhidrita Ca SO ₄	No detectado	Indicios	Densidad Aparente (gr/cm ³)	1.03
Fe ₂ O ₃	0.50	P ₂ O ₅	0.03	Aragonito CaCO ₃	Indicios	Indicios	Porosidad Abierta (%)	55.1
MnO	0.00	SO ₃	34.90	Calcita CaCO ₃	Indicios	Indicios	Dureza (shore)	71.0
MgO	0.75	PC	21.88	Dolomita Ca Mg (CO ₃) ₂	Indicios	Indicios	Impurezas (%)	9.35
CaO	34.39	Total	97.02	Cuarzo SiO ₂	Indicios	Indicios		
Na ₂ O	0.01			Magnesita MgCO ₃	Indicios			

YDR-Masa



LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA



LUGAR DE LA MUESTRA ANTES
DE LA EXTRACCIÓN



IMAGEN DE LA CAPA EXTERIOR



LUGAR DE LA MUESTRA TRAS LA EXTRACCIÓN

CAPA DE LA MUESTRA	Nº DE CAPAS	ESPESOR	PROBABLE APLICACIÓN
YDR	1	600 -700 micras	Enjalbegado de yeso y cal

YESERÍAS DE TRADICIÓN ISLÁMICA DEL REAL ALCÁZAR DE SEVILLA

AUTORES: F. Javier Blasco / F. Javier Alejandro

DENOMINACIÓN DE LA MUESTRA: YSA (arco central norte)

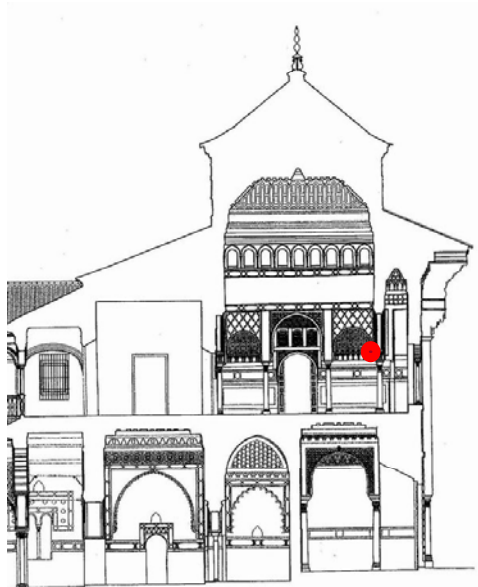
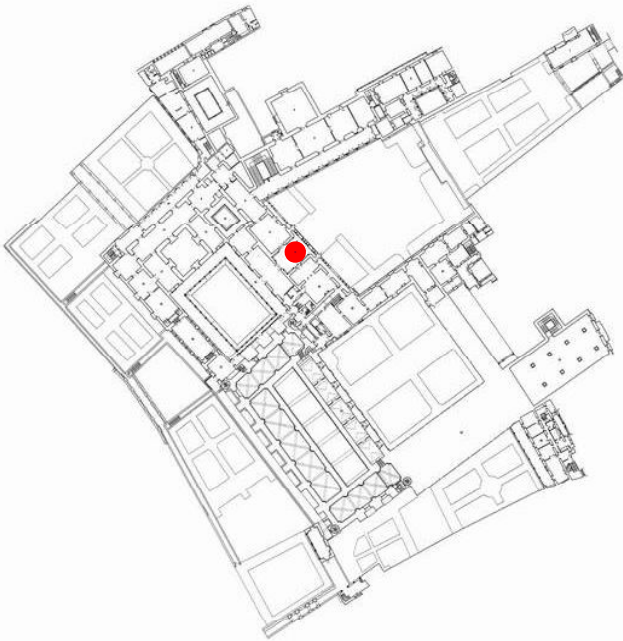
REGISTRO ARQUEOLÓGICO: -

PROCEDENCIA: Palacio Mudéjar. Sala de Audiencias

ORGANISMO QUE APORTA LA MUESTRA: Patronato Real Alcázar de Sevilla.

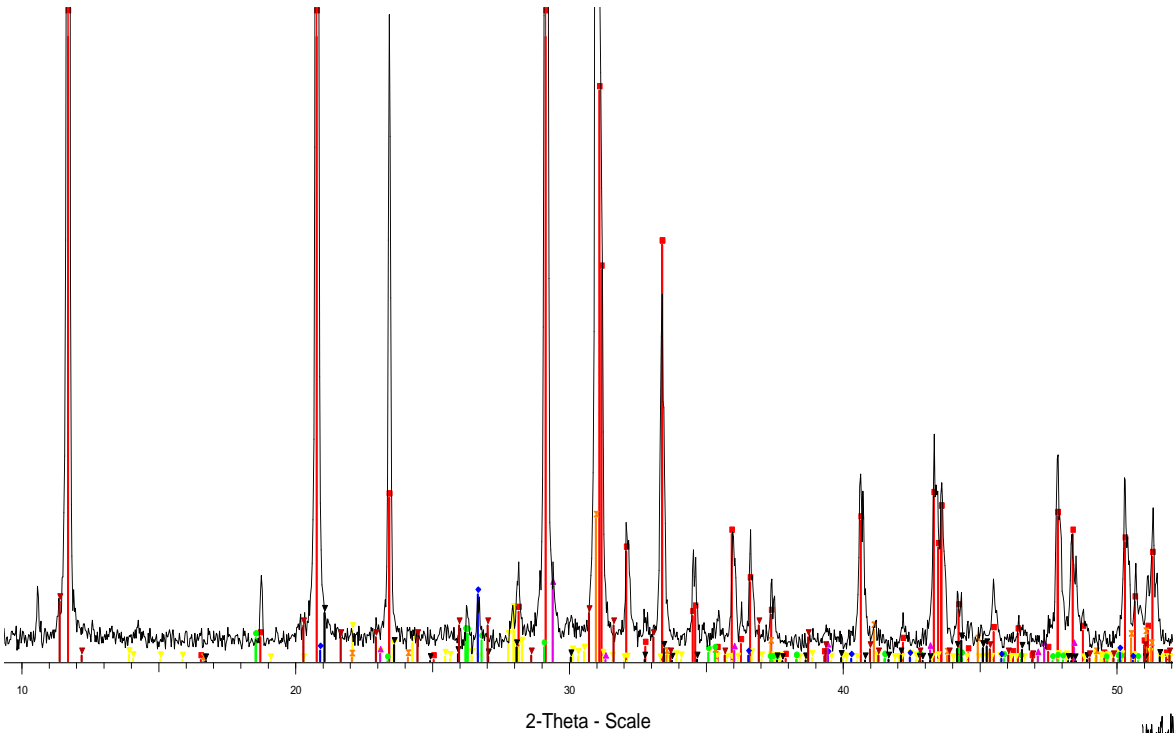
DATACIÓN: Siglo XIV

MATERIAL DE LA MASA DE LA MUESTRA: Yeso dihidrato de baja pureza (<40% de SO₃).



COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)				COMPOSICIÓN MINERALÓGICA			PROPIEDADES DE LA MUESTRA	
				MINERAL	MASA	CAPA		
SiO ₂	2.80	K ₂ O	0.20	Yeso dihidrato CaSO ₄ · 2H ₂ O	Muy abundante	Medio	Densidad Real Aprox.(gr/cm ³)	2.32
Al ₂ O ₃	0.68	SrO	0.23	Anhidrita Ca SO ₄	No detectado	Indicios	Densidad Aparente (gr/cm ³)	1.02
Fe ₂ O ₃	0.30	P ₂ O ₅	0.02	Aragonito CaCO ₃	No detectado	No detectado	Porosidad Abierta (%)	58.1
MnO	0.01	SO ₃	38.36	Calcita CaCO ₃	Indicios	Muy Abundante	Dureza (shore)	67.0
MgO	1.00	PC	24.11	Dolomita Ca Mg (CO ₃) ₂	Indicios	No detectado	Impurezas (%)	3.39
CaO	30.30	Total	98.12	Cuarzo SiO ₂	Indicios	Indicios		
Na ₂ O	0.02			Magnesita MgCO ₃	No detectado			

YSA-Masa



YSA(15-10) - File: YSA(15-10)Masa.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 69.9 ° - Operations: Import

01-074-1433 (C) - Gypsum - Ca(SO₄)(H₂O)₂ - I/Ic PDF 1.7 - F30=419(0.0019,37)

01-089-6424 (C) - Albite (heat-treated) - Na(AlSi₃O₈) - I/Ic PDF 0.6 - F30=313(0.0001,31)

01-089-5862 (C) - Dolomite - CaMg(CO₃)₂ - I/Ic PDF 2.8 - F30=1000(0.0001,31)

01-080-0545 (C) - Kieserite - Mg(SO₄)(H₂O) - I/Ic PDF 1.1 - F30=131(0.0059,39)

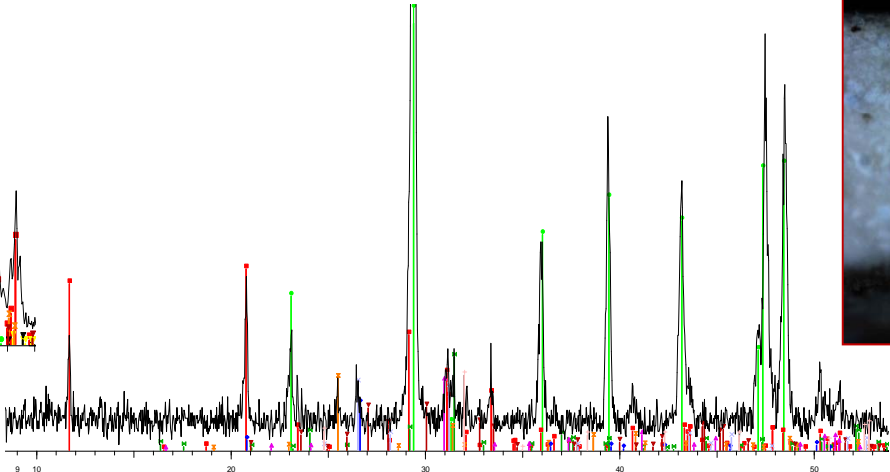
00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - I/Ic PDF 3.4 - F30=539(0.0018,31)

01-086-2339 (C) - Calcite - Ca(CO₃) - I/Ic PDF 3.1 - F30=1000(0.0001,30)

01-083-1719 (A) - Celestine - SrSO₄ - I/Ic PDF 3.3 - F30=1000(0.0009,32)

00-016-0937 (D) - Ferrinatrile - Na₃Fe+3(SO₄)₃·3H₂O - F30= 7(0.0400,112)

YSA-CAPA



YSA-CAPA - File: YSA-CAPA.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 69.9 ° - Operations: Import

01-086-2339 (C) - Calcite - Ca(CO₃) - I/Ic PDF 3.1 - F30=1000(0.0001,30)

01-074-1433 (C) - Gypsum - Ca(SO₄)(H₂O)₂ - I/Ic PDF 1.7 - F30=419(0.0019,37)

01-079-1725 (A) - Gehlenite, syn - Ca₂Al(AlSiO₇) - I/Ic PDF 2.4 - F30=1000(0.0000,0.0000)

01-072-0503 (A) - Anhydrite - Ca(SO₄) - I/Ic PDF 1.8 - F30=133(0.0056,40)

00-005-0593 (*) - Celestine, syn - SrSO₄ - I/Ic PDF 1.8 - F30= 40(0.0152,49)

01-088-2487 (C) - Quartz low - SiO₂ - I/Ic PDF 3. - F28=1000(0.0001,29)

01-089-5862 (C) - Dolomite - CaMg(CO₃)₂ - I/Ic PDF 2.8 - F30=1000(0.0001,31)

00-042-1408 (D) - Cinnabar - HgS - F30= 73(0.0114,36)

00-029-0696 (*) - Siderite - FeCO₃ - F30= 75(0.0102,39)



LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA



LUGAR DE LA MUESTRA ANTES DE LA EXTRACCIÓN



IMAGEN DE LA CAPA EXTERIOR



LUGAR DE LA MUESTRA TRAS LA EXTRACCIÓN

CAPA DE LA MUESTRA	Nº DE CAPAS	ESPESOR	PROBABLE APLICACIÓN
YSA	1	1200 -1700 micras	Enjalbegado de cal

EXAMEN VISUAL DE ALTERACIONES EN LAS YESERÍAS

ANEXO 2.- Estado de conservación y examen visual de las alteraciones observadas

Se incluye en este apartado, una breve serie de manifestaciones superficiales de alteración detectadas a simple vista durante la fase de la toma de muestras en algunos de los paños de yeserías de las salas o patios estudiados. Se trata de alteraciones que afectan al aspecto exterior de la yesería, sin provocar generalmente modificaciones importantes del material (Martín, 1990).

De las muestras de yeserías tomadas del monumento en una primera fase (campaña 2008), en general se puede deducir, basado exclusivamente en las muestras puntuales obtenidas, que se encuentran en un buen estado, tal como puede apreciarse en los datos aportados en este estudio.

Se ha observado que la yesería del Patio de las Doncellas (YPD), se halla cubierta exteriormente, de un enjalbegado de yeso de color ocre muy pálido debido a la presencia de siderita y ghelenita, que apaga a la vez que protege superficialmente a las yeserías. El inconveniente de este revestimiento protector estriba en que se aplica a toda la superficie de yeso, lo que puede incidir sobre las policromías existentes, si las hubiera, ocultando el efecto cromático de éstas.

El Patio del Yeso (YPY) está enjalbegado igualmente en superficie por una gruesa capa de yeso y anhidrita. Esta capa de yeso actúa, como cubierta de sacrificio exterior por lo que requiere de una observación y reposición continuada para su mantenimiento.

La muestra obtenida de la Sala de la Justicia, no presenta ninguna capa exterior aparente apreciándose en dicha sala, algunas pérdidas de material en atauriques y zonas más porosas y de menor dureza que otras.

Las muestras del Patio de la Montería YPM2 (capa base) y Patio Limones YPL, proceden de fondos arqueológicos y no poseen capa. En el caso de YPM1 al hallarse enterrada durante siglos y por presentar su capa externa muy deteriorada, no se le ha efectuado análisis de capas.

En los siglos XIX y XX era práctica habitual cubrir los paramentos con aguadas de arcilla que escondían los deterioros y las intervenciones recientes, creándose una heterogénea capa marrón claro que ocultaba el blanco de las yeserías y los colores de las policromías (López, 2005)

Las muestras procedentes de fondos arqueológicos, se encontraban aún impregnadas de barro y otros restos secos, por lo que se han limpiado con cepillo antes de proceder a la preparación y molido de las distintas probetas para su análisis, encontrándose una vez limpias en buen estado de conservación.

De las muestras de yeserías tomadas en una segunda fase (campaña 2009), las correspondientes al Cenador de la Alcoba (YCA), presenta varias capas de enjalbegado de cal; La Sala de la Justicia (YSJ2) y el Patio del Sol (YPS2 o enjuta descrita por B. Pavón) no muestran capa exterior alguna.

El Salón de Embajadores (YSE) posee diversas capas de policromía y yeso, mientras que las demás (Patio Muñecas YPM; Cuarto del Príncipe YCP y Alcoba Real YCR) no presentan aparentemente ninguna capa exterior definida.

De las muestras de yeserías tomadas en una tercera fase (campaña 2010), las correspondientes al Dormitorio del Rey D. Pedro (YDR), posee una gruesa capa de yeso, mientras que la Sala de los Reyes Católicos (YSR) tiene dos, una más gruesa interior y otra exterior de menor espesor.

La Sala de Audiencias (YSA) y el Salón del techo de Felipe II (YSF), presentan sin embargo una sola capa de enjalbegado de cal, más gruesa en YSA.

Como se ha comentado, el estado de conservación de las yeserías está basado exclusivamente en las muestras obtenidas, por lo que resulta difícil extenderlo a la totalidad de los paños decorados y sebqas.

Sin analizar de cerca la totalidad de los mismos se podría decir que es bueno en general, salvo para algunas de ellas, cuyos análisis y recomendaciones quedan recogidos en este apartado de análisis visual y en las discusiones de resultados y conclusiones de este estudio.

Concretamente, son objeto de comentario, enunciados de menor a mayor importancia y por su estado: La Sala de la Justicia, El Cuarto del Príncipe, el Patio del Sol, el Dormitorio del Rey y el Cenador de la Alcoba.

- La primera muestra tomada de la Sala de la Justicia (YSJ) presenta un mayor grado de porosidad y menor dureza que las demás, lo que la hace más vulnerable en cuanto a su durabilidad, no obstante la segunda, tomada en otro punto (YSJ2), nos muestra mejores valores de dureza y porosidad, por lo que podría ser conveniente analizar el estado general de todos los paramentos de la Sala, mediante tomas de datos de dureza “in situ” de los mismos (ensayo no destructivo), lo que nos podría indicar con bastante aproximación la porosidad y consecuentemente la durabilidad de los paños, todo ello de cara a un Plan de prevención para la conservación y mantenimiento de las yeserías de la Sala.
Se resalta a favor de estas yeserías, el hecho de ser una de las yeserías que no presenta sus paramentos directamente al exterior.
- El Cuarto del Príncipe arroja buenos valores de dureza y porosidad aunque, durante la toma de muestras, se han observado fisuras en el arco oriental, concretamente en la unión de los lambrequines con el intradós del mismo, así como en el propio lambrequín, que separa la sala central de la alcoba (Figuras 1 y 2). Por lo que convendría analizar el sistema de unión y la fijación de los lambrequines al arco, por motivos de conservación y seguridad.

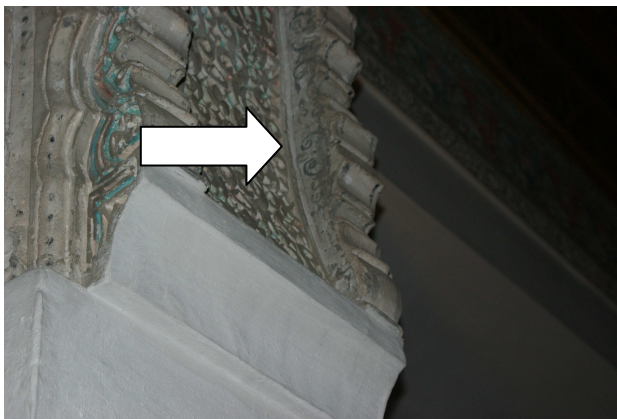


Figura 1



Figura 2

- En cuanto a la muestra YPS2 del patio del Sol, tomada de una de las enjutas descritas por Pavón Maldonado en su fachada exterior (existen otras en la

interior), se ha observado que ha sido afectada durante un tiempo de una humedad accidental proveniente del piso superior (Figura 3 y 4), lo que le ha provocado una coloración más oscura por la humedad y arrastre de partículas, a la vez que ha debilitado su adherencia al soporte, afectando a las propiedades de la yesería.



Figura 3



Figura 4

- En el Dormitorio del Rey D. Pedro se han observado unos testigos de yeso colocados sobre una grieta del paramento interior de la fachada exterior, que recorre prácticamente la totalidad de la altura de la Sala (Figuras 5 y 6). Algunos de dichos testigos parecen estar fisurados, por lo que es posible que el paño haya sufrido algún movimiento en algún punto, bien debido al soporte o a la propia yesería. Se ha comprobado además, una falta de adherencia entre la yesería y el paramento o revestimiento de base que lo sustenta.



Figura 5

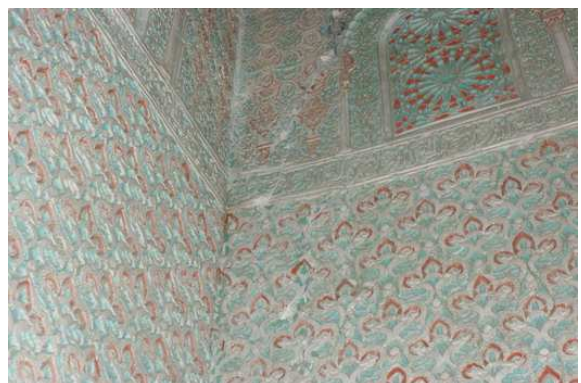


Figura 6

- La muestra del Cenador de la Alcoba, correspondiente a su fachada suroeste, ha proporcionado uno de los valores más bajos de porosidad y dureza, lo que unido a su situación en el exterior la hace una de las yeserías más vulnerables del conjunto. Exteriormente, se encuentra protegida por diversas capas de enjalbegado de cal (documentadas en apartados anteriores), no obstante, se han observado grietas y fisuras en las placas, además de un despegue generalizado de las mismas con respecto a su capa base de apoyo, haciéndola muy vulnerable a la humedad y cambios de temperatura. También se observa, como elemento del sistema de colocación de las placas, unos clavos metálicos de hierro forjado que las unen a la capa base y/o paramento, que debieron ser colocados al realizar la placa, donde aún en estado fresco, se introducía la cabeza del clavo en el interior de la masa de la placa, de forma que una vez endurecida quedara sujeta y parcialmente embutida en la misma (Rubio, 2002). Muchos de estos clavos se encuentran oxidados, posiblemente debido a la entrada de humedad hasta ellos, lo que ha provocado un aumento de volumen por oxidación de los mismos debido al pH ligeramente ácido del yeso, desprendiendo la capa exterior del revestimiento (yeso) y las capas de cal de protección que cubrían las cabezas, favoreciendo así aún más la progresiva oxidación y consecuentemente, el despegue y deterioro de las placas (Figuras 7 y 8).



Figura 7



Figura 8

GRAFICAS DE POROSIDAD

Escayola E35 0,6	50
Escayola E35 0,8	57.24
Yeso B1 0,6	48.11
Yeso B1 0,8	56.9

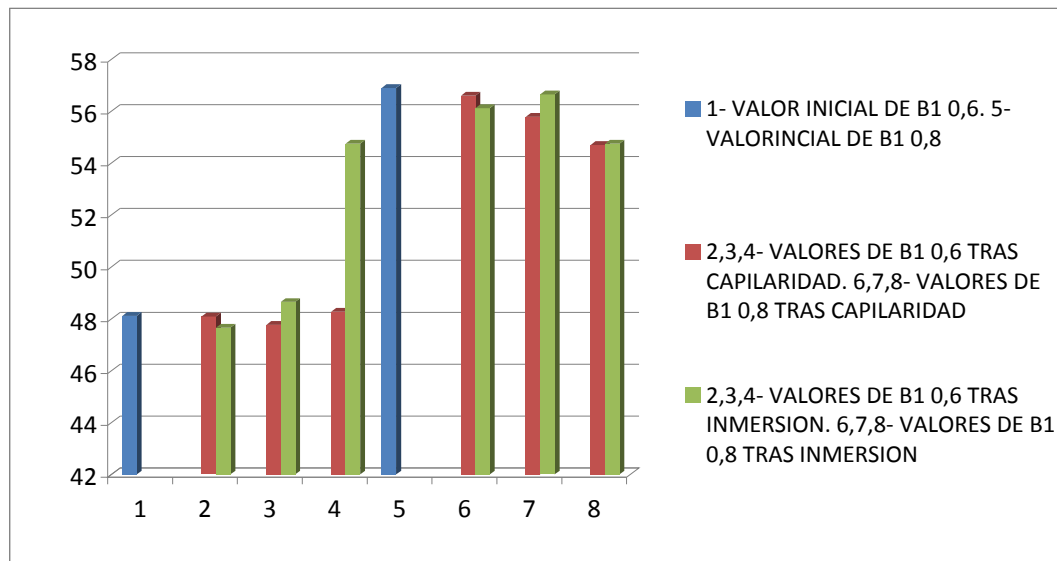
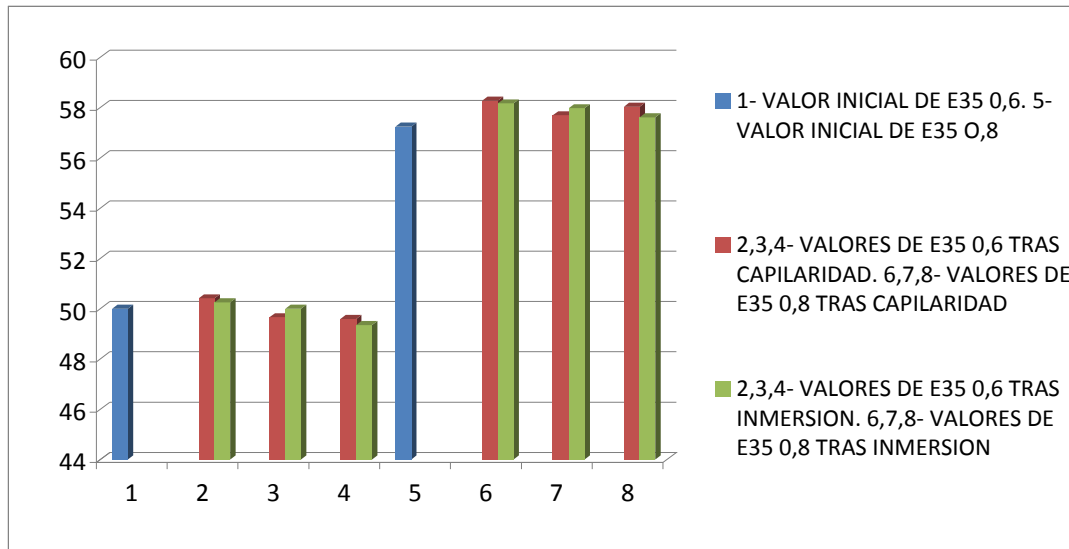
Sin tratamiento	Escayola E35 0,6	50.41	Yeso B1 0,6	48.09
	Escayola E35 0,8	58.27	Yeso B1 0,8	56.6
Pintadas con yeso	Escayola E35 0,6	49.66	Yeso B1 0,6	47.77
	Escayola E35 0,8	57.69	Yeso B1 0,8	55.79
Pintadas con cal	Escayola E35 0,6	49.59	Yeso B1 0,6	48.27
	Escayola E35 0,8	58.03	Yeso B1 0,8	54.7

Sin tratamiento	Escayola E35 0,6	50.25	Yeso B2 0,6	47.66
	Escayola E35 0,8	58.16	Yeso B1 0,8	56.12
Pintadas con yeso	Escayola E35 0,6	50	Yeso B1 0,6	48.65
	Escayola E35 0,8	57.97	Yeso B1 0,8	56.65
Pintadas con cal	Escayola E35 0,6	49.35	Yeso B1 0,6	48.48
	Escayola E35 0,8	57.61	Yeso B1 0,8	54.75

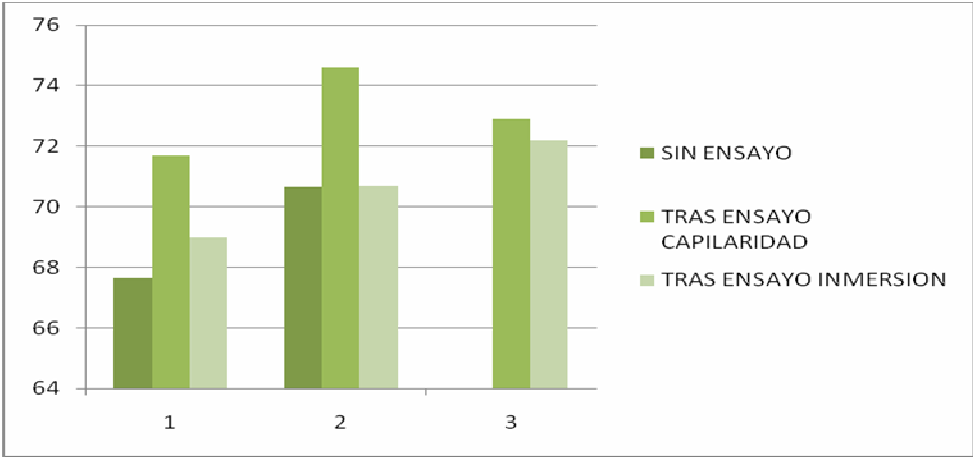
50				57.24			
	50.41	49.66	49.59		58.27	57.69	58.03
	50.25	50	49.35		58.16	57.97	57.61

48.11				56.9			
	48.09	47.77	48.27		56.6	55.79	54.7
	47.66	48.65	54.75		56.12	56.65	54.75

GRAFICAS DE POROSIDAD



GRÁFICAS DE DUREZA



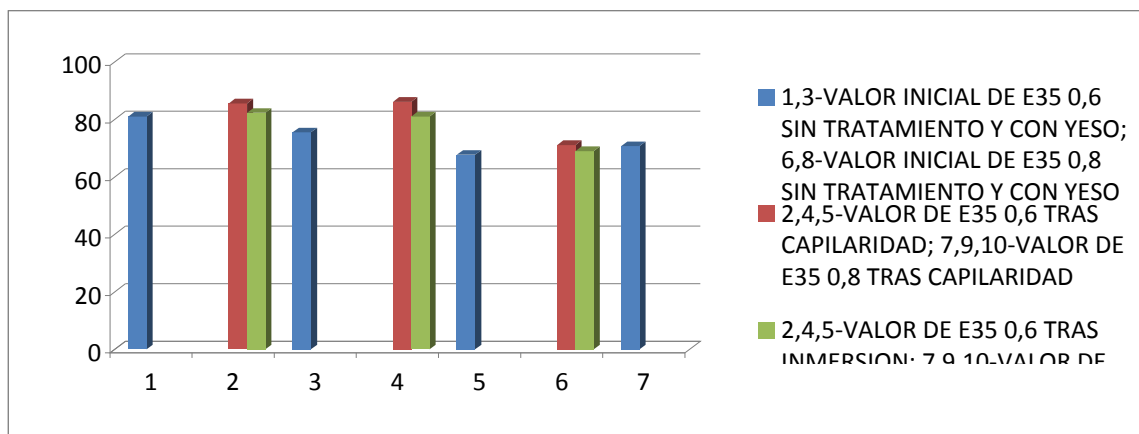
Sin Tratamiento	Escayola E35 0,6	85.6
	Escayola E35 0,8	71.1
Pintadas con yeso	Escayola E35 0,6	86
	Escayola E35 0,8	74.6
Pintadas con cal	Escayola E35 0,6	86.1
	Escayola E35 0,8	72.9
Sin tratamiento	Yeso B1 0,6	79.7
	Yeso B1 0,8	64.9
Pintadas con yeso	Yeso B1 0,6	81.7
	Yeso B1 0,8	68.7
Pintadas con cal	Yeso B1 0,6	81
	Yeso B1 0,8	71.5

Sin Tratamiento	Escayola E35 0,6	81
	Escayola E35 0,8	67.7
Pintadas con yeso	Escayola E35 0,6	75.5
	Escayola E35 0,8	70.7
Sin Tratamiento	Yeso B1 0,6	76
	Yeso B1 0,8	60
Pintadas con yeso	Yeso B1 0,6	79
	Yeso B1 0,8	60

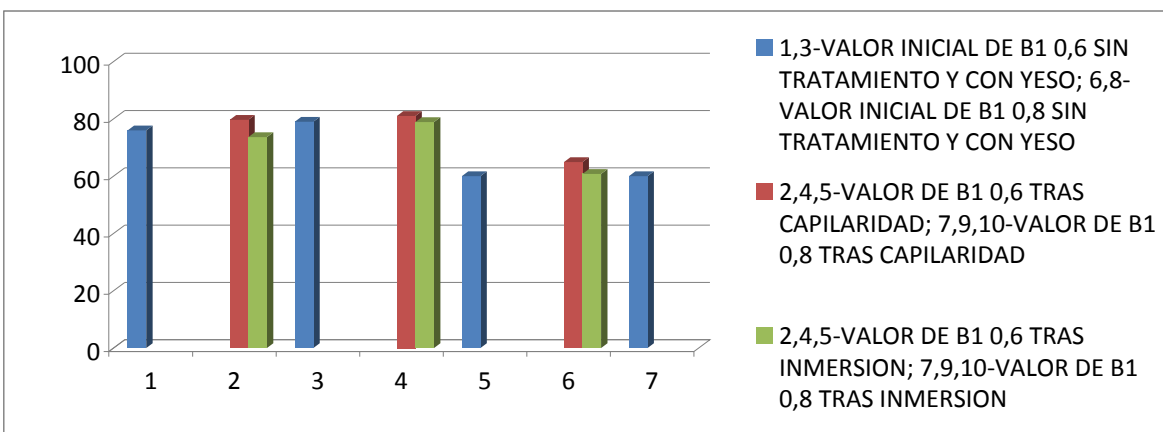
Sin tratamiento	Escayola E35 0,6	82.3
	Escayola E35 0,8	69
Pintadas con yeso	Escayola E35 0,6	83
	Escayola E35 0,8	70.7
Pintadas con cal	Escayola E35 0,6	81
	Escayola E35 0,8	72.2
Sin tratamiento	Yeso B1 0,6	73.6
	Yeso B1 0,8	60.8
Pintadas con yeso	Yeso B1 0,6	76.9
	Yeso B1 0,8	62.4
Pintadas con cal	Yeso B1 0,6	78.9
	Yeso B1 0,8	64

GRÁFICAS DE DUREZA

81		75.5		67.7		70.7
	85.6		86.1		71.1	
	82.3		81		69	



76		79		60		60
	79.7		81		64.9	
	73.6		78.9		60.8	

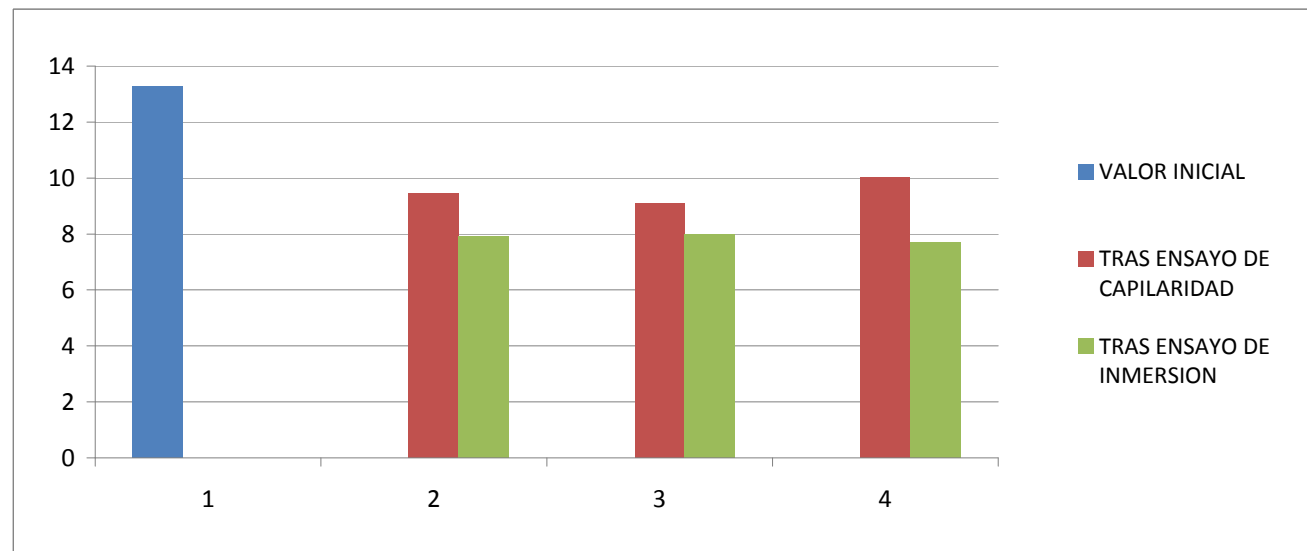


GRÁFICAS DE R. COMPRESION

Sin tratamiento	Escayola E35 0,6	9.4562	Yeso B1 0,6	7.8937
	Escayola E35 0,8	7.3562	Yeso B1 0,8	4.4312
Pintadas con yeso	Escayola E35 0,6	9.0875	Yeso B1 0,6	8.4375
	Escayola E35 0,8	6.2875	Yeso B1 0,8	4.0312
Pintadas con cal	Escayola E35 0,6	10.0187	Yeso B1 0,6	7.0062
	Escayola E35 0,8	6.4	Yeso B1 0,8	4.8625

Sin tratamiento	Escayola E35 0,6	7.9312	Yeso B1 0,6	6.3875
	Escayola E35 0,8	5.4875	Yeso B1 0,8	3.1937
Pintadas con yeso	Escayola E35 0,6	7.9687	Yeso B1 0,6	5.6375
	Escayola E35 0,8	4.9062	Yeso B1 0,8	3.4875
Pintadas con cal	Escayola E35 0,6	7.725	Yeso B1 0,6	4.9312
	Escayola E35 0,8	5.1875	Yeso B1 0,8	3.9875

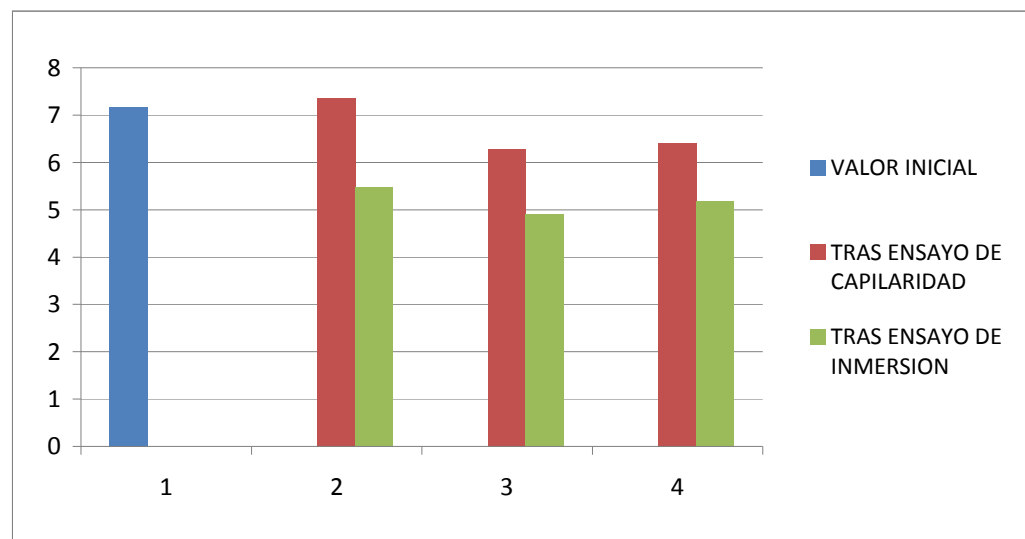
Escayola E35 0.6	13.26937
Escayola E35 0.8	7.1625
Yeso B1 0,6	8.6125
Yeso B1 0,8	4.7437



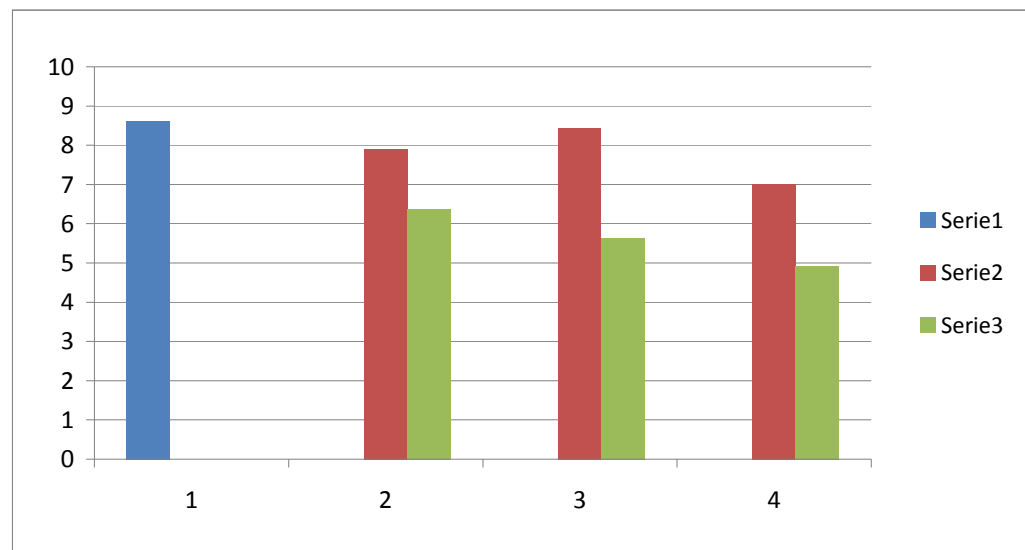
13.26937			
	9.4562	9.0875	10.0187
	7.9312	7.9687	7.725

GRÁFICAS DE R. COMPRESION

7.1625			
	7.3562	6.2875	6.4
	5.4875	4.9062	5.1875

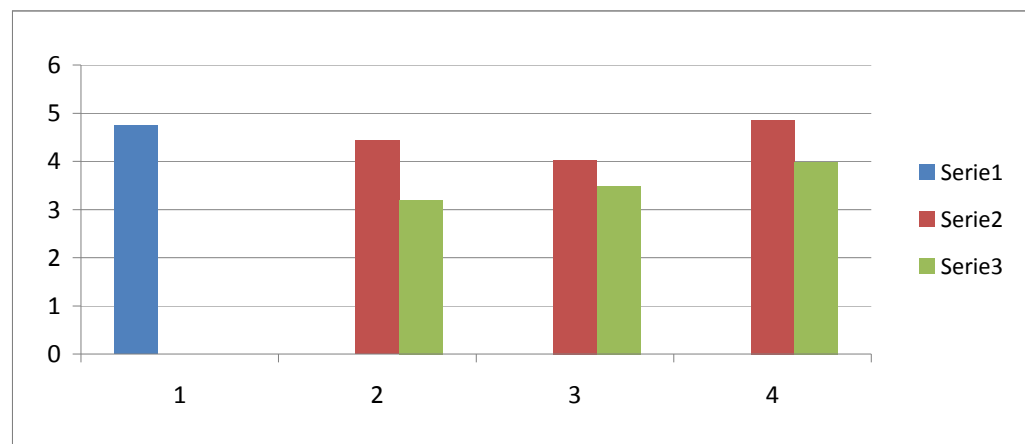


8.6125			
	7.8937	8.4375	7.0062
	6.3875	5.6375	4.9312

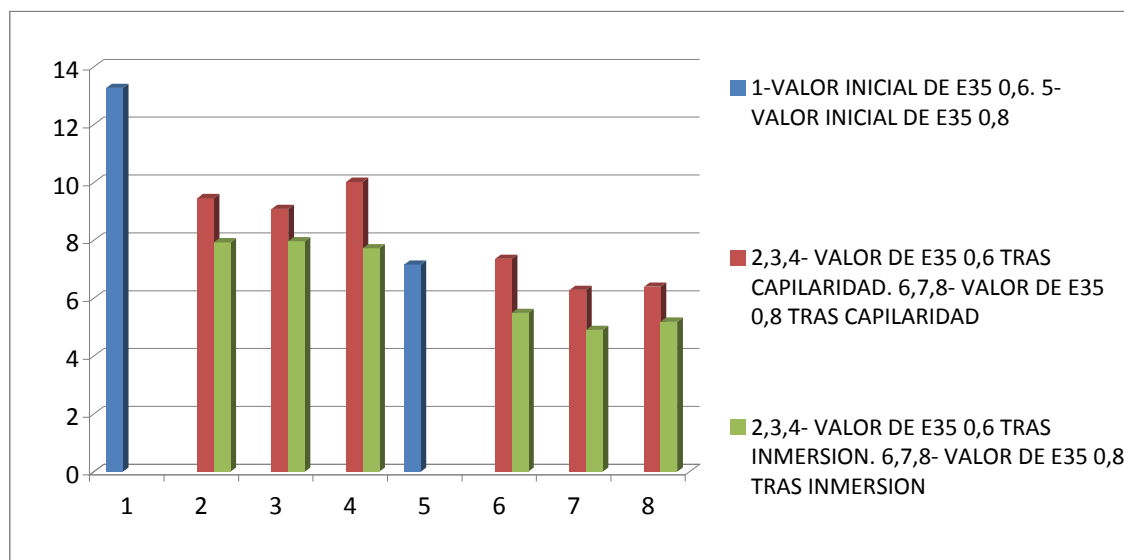


GRÁFICAS DE R. COMPRESION

4.7437			
	4.4312	4.0312	4.8625
	3.1937	3.4875	3.9875

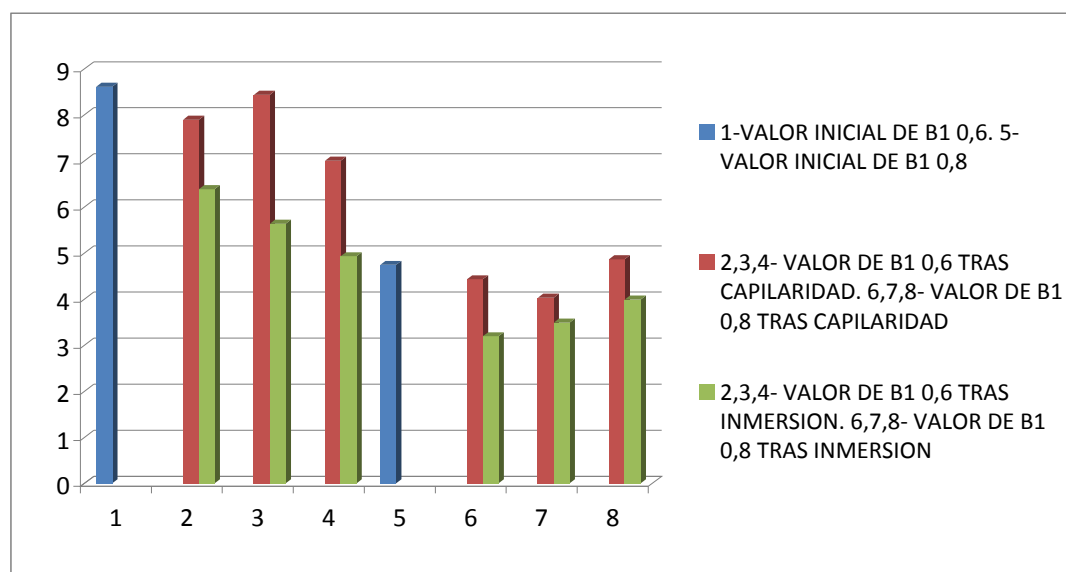


13.26937				7.1625			
	9.4562	9.0875	10.0187		7.3562	6.2875	6.4
	7.9312	7.9687	7.725		5.4875	4.9062	5.1875



GRÁFICAS DE R. COMPRESION

8.6125				4.7437			
	7.8937	8.4375	7.0062		4.4312	4.0312	4.8625
	6.3875	5.6375	4.9312		3.1937	3.4875	3.9875



GRÁFICAS DE R. COMPRESION

GRÁFICAS DE R. COMPRESION

GRÁFICAS DE R. COMPRESION

PERMEABILIDAD E35 0,6 SIN TRATAMIENTO

PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA: DIFUSIVIDAD

Circulación de humedad en permeámetro (Norma: CNR-ICR NORMAL 21/85)

Muestra: **E0.6 BLANCO**

Fecha:

- Superficie del permeámetro constante: **S = 0,00125 m²** (diámetro 4 cm) (m²)

Cálculos:

- Incremento de masa por unidad de superficie en función del tiempo: **(ΔM/S) = (M_t - M₀) / S** (g / m²)

- Coeficiente de permeabilidad al vapor de agua:

. coeficiente simplificado (NORMAL 21/85): **K_v = -(ΔM/S) / t** (g / m² x 24h)

. coeficiente completo (ley de Darcy): **K_v = -(ΔM/S) x e / (t x ΔP)** (g / m x h x mmHg)

Toma de datos

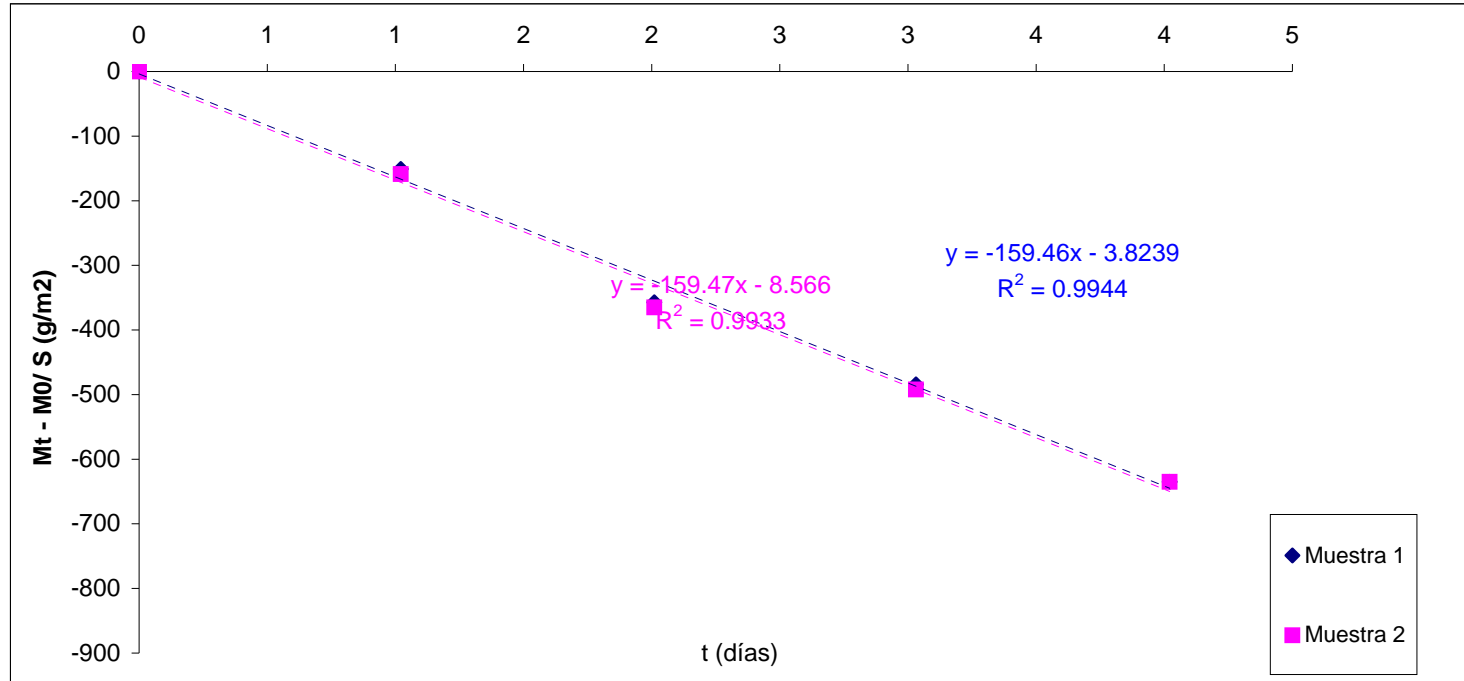
	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Espesor real: e	(cm)	1.19	1.19	#¡REF!	
Superficie del permeámetro: S	(m ²)	0.00	0.00	0.00	

Tiempo					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M _t (g)				ΔM/S (g / m ²)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-10	11.00	12.00	0.00	0.00	238.01	246.17			0.00	0.00			0.00
M-11	11.30	12.00	24.50	1.02	237.82	245.97			-150.79	-158.73			-154.76
X-12	11.15	12.00	48.25	2.01	237.56	245.71			-357.14	-365.08			-361.11
J-13	11.45	12.00	72.75	3.03	237.4	245.55			-484.13	-492.06			-488.10
V-14	11.30	12.00	96.50	4.02	237.21	245.37			-634.92	-634.92			-634.92
L-17									-188896.83	-195373.02			-192134.92

PERMEABILIDAD E35 0,6 SIN TRATAMIENTO

Representación gráfica:

- Incremento de masa por unidad de superficie ($\Delta M/S$), en función del tiempo (t).



$$K_v(20^\circ\text{C}) / P(20^\circ\text{C}) = K_v(25^\circ\text{C}) / P_v(25^\circ\text{C}).$$

- La presión de vapor $P(20^\circ\text{C}) = 17,53 \text{ mmHg}$ y $P(25^\circ\text{C}) = 23,76 \text{ mmHg}$, entonces:

$$K_v(20^\circ\text{C}) = K_v(25^\circ\text{C}) \times 0,7378 \quad (\text{g} / \text{m}^2 \times 24\text{h})$$

- Debe corregirse dicho coeficiente teniendo en cuenta el espesor real de las muestras, expresado éste en cm y considerándole un parámetro adimensional (sin intervenir en las unidades):

$$K_v^*(20^\circ\text{C}) = K_v(20^\circ\text{C}) \times e \text{ (cm)} \quad (\text{g} / \text{m}^2 \times 24\text{h})$$

- Finalmente calcular el valor medio y la desviación típica.

PERMEABILIDAD E35 0,6 SIN TRATAMIENTO

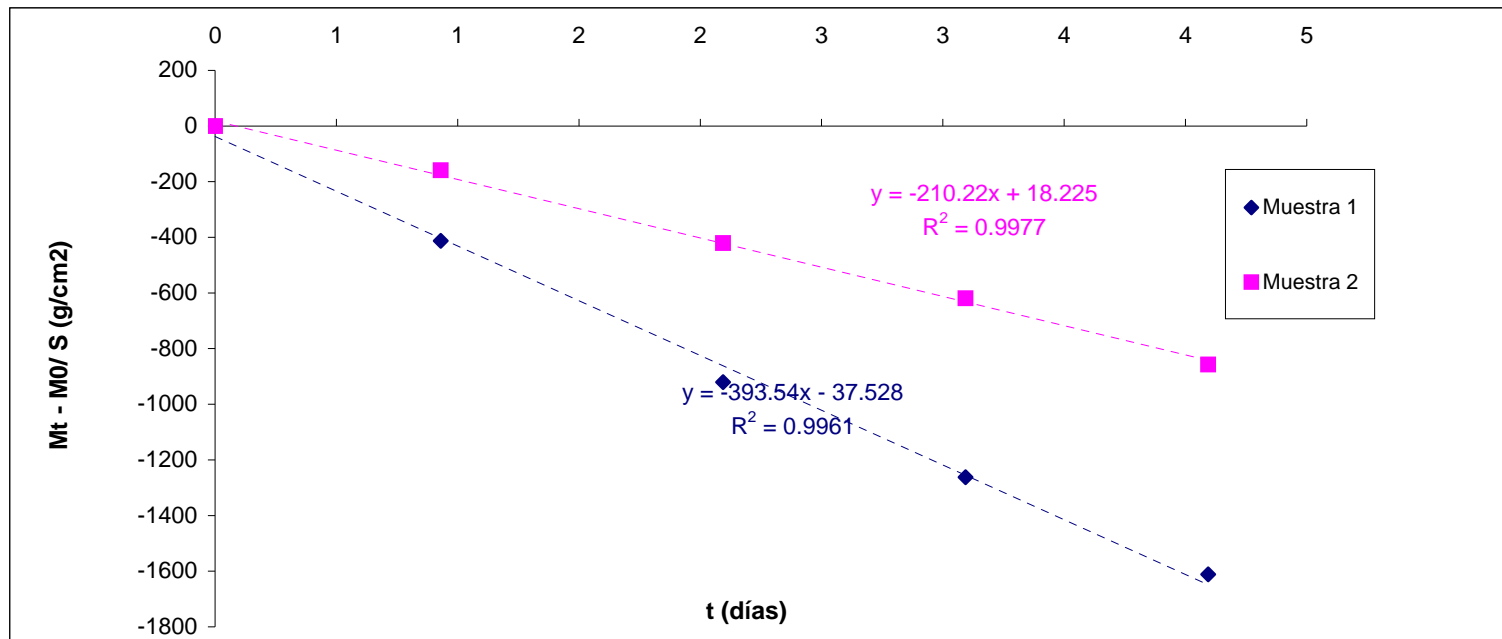
Resultados									
Unidad Factor			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 25°C									
- Kv (25°C)	(g / m ² x 24h)		159.46	159.47				159.47	0
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 20°C									
- Kv (25°C)	(g / m ² x 24h)	0.7378	118	118	0.000			118	83
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 20°C y corregido el espesor									
- Kv* (25°C)	(g / m ² x 24h)		140	140				140	0

Muestra	Espesor		Media
1	1.19	1.19	1.19
2	1.19	1.19	1.19

Permeabilidad de las placas tras el ensayo de inmersión													
Tiempo					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M _i (g)				ΔM/S (g / cm ²)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-3		12.00	0.00	0.00	232.25	236.83			0.00	0.00			0.00
M-4		13.15	25.25	1.05	232.11	236.71			-111.11	-95.24			-103.17
X-5		13.30	49.50	2.06	231.93	236.52			-253.97	-246.03			-250.00
J-6		13.35	73.58	3.07	231.67	236.27			-460.32	-444.44			-452.38
V-7		15.30	99.50	4.15	231.34	235.94			-722.22	-706.35			-714.29
S-8									-184325.40	-187960.32			-186142.86
D-9									-184325.40	-187960.32			-186142.86

PERMEABILIDAD E35 0,6 SIN TRATAMIENTO

Permeabilidad de las placas después del ensayo de capilaridad													
Tiempo					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M _t (g)				ΔM/S (g / cm ²)				
Día	Hora	Hora	t (rel)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-3		12.15	0.00	0.00	235.16	236.27			0.00	0.00			0.00
M-4		10.35	22.33	0.93	234.64	236.07			-412.70	-158.73			-285.71
X-5		14.30	50.25	2.09	234	235.74			-920.63	-420.63			-670.63
J-6		14.30	74.25	3.09	233.57	235.49			-1261.90	-619.05			-940.48
V-7		14.30	98.25	4.09	233.13	235.19			-1611.11	-857.14			-1234.13
S-8									-186634.92	-187515.87			-187075.40
D-9									-186634.92	-187515.87			-187075.40



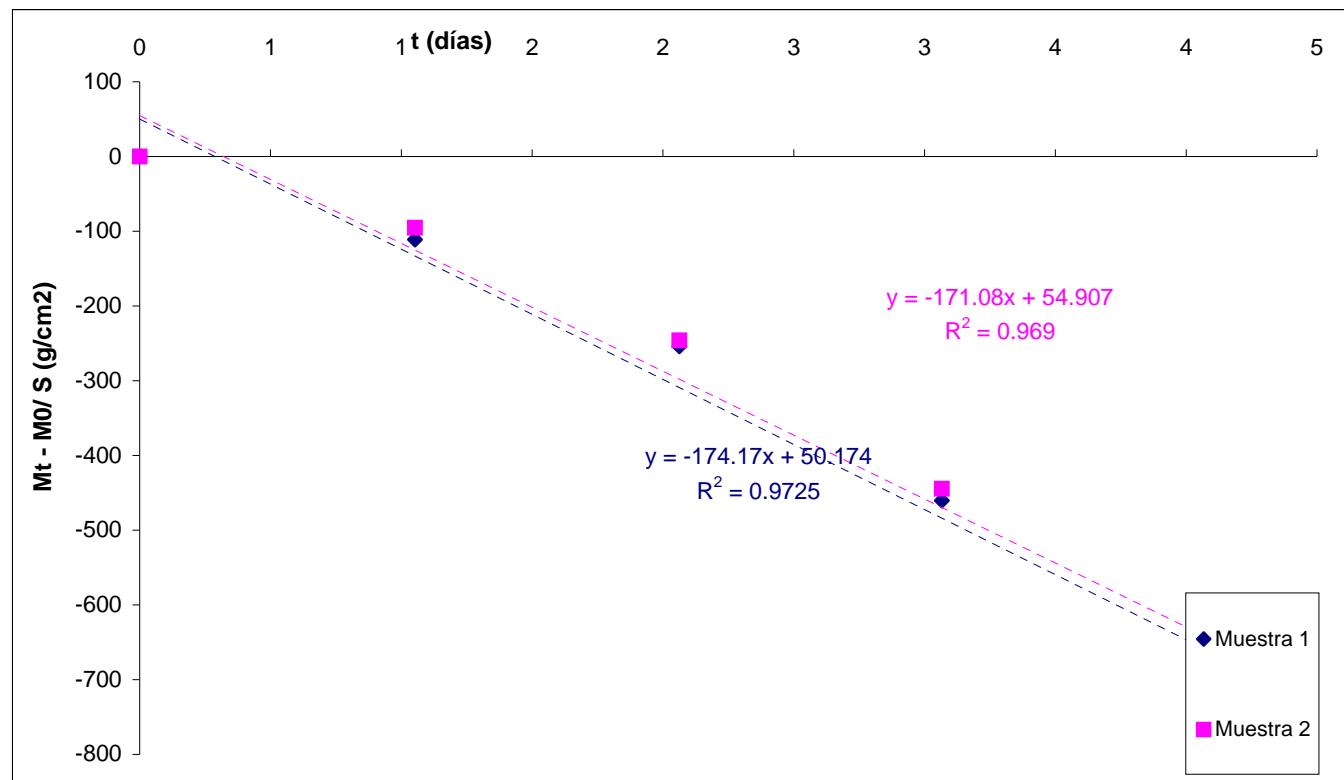
PERMEABILIDAD E35 0,6 SIN TRATAMIENTO

Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
393.54	210.22				302	130
290.354	155.100				223	96
348.425	186.896				268	114

Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
174.17	171.08				173	2
128.503	126.223				127	2
146.750	143.263				145	2.4657

	Muestra 1	Muestra 2
Espesor	1.2	1.205

	Muestra 1	Muestra 2
Espesor	1.142	1.135



PERMEABILIDAD E35 0,6 SIN TRATAMIENTO

- Kv* (25°C) (g / m² x 24h)

	Kv (20°C) g/m2 24h	Desviacion Típica
Valor inicial	140	0.006
Ensayo capilaridad	268	114
Ensayo inmersión	145	2.46

PERMEABILIDAD E35 CON YESO

Muestra: **E0,6 YESO**

Fecha:

Cálculos:

- Superficie del permeámetro constante: **S = 0,00125 m²** (diámetro 4 cm) (m²)
- Incremento de masa por unidad de superficie en función del tiempo: **(ΔM/S) = (M_t - M_o) / S** (g / m²)
- Coeficiente de permeabilidad al vapor de agua:
 - . coeficiente simplificado (NORMAL 21/85): **K_v = -(ΔM/S) / t** (g / m² x 24h)
 - . coeficiente completo (ley de Darcy): **K_v = -(ΔM/S) x e) / (t x ΔP)** (g / m x h x mmHg)

Toma de datos

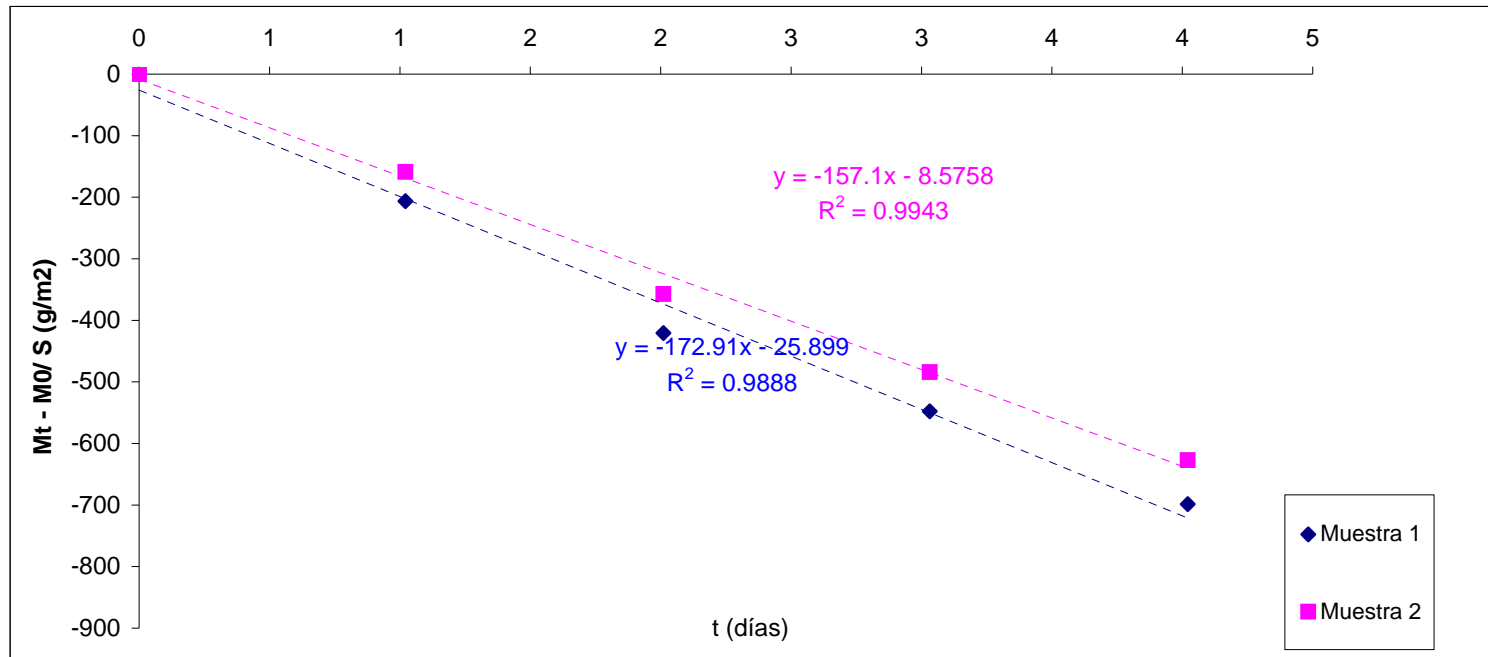
	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Espesor real: e	(cm)	1.22	1.22	#¡REF!	
Superficie del permeámetro: S	(m ²)	0.00	0.00	0.00	

Tiempo					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M _t (g)				ΔM/S (g / m ²)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-10	11.00	12.00	0.00	0.00	244.58	247.78			0.00	0.00			0.00
M-11	11.30	12.00	24.50	1.02	244.32	247.58			-206.35	-158.73			-182.54
X-12	11.15	12.00	48.25	2.01	244.05	247.33			-420.63	-357.14			-388.89
J-13	11.45	12.00	72.75	3.03	243.89	247.17			-547.62	-484.13			-515.87
V-14	11.30	12.00	96.50	4.02	243.7	246.99			-698.41	-626.98			-662.70
L-17									-194111.11	-196650.79			-195380.95

PERMEABILIDAD E35 CON YESO

Representación gráfica:

- Incremento de masa por unidad de superficie ($\Delta M/S$), en función del tiempo (t).



$$K_v(20^\circ\text{C}) / P(20^\circ\text{C}) = K_v(25^\circ\text{C}) / P_v(25^\circ\text{C}).$$

- La presión de vapor $P(20^\circ\text{C}) = 17,53 \text{ mmHg}$ y $P(25^\circ\text{C}) = 23,76 \text{ mmHg}$, entonces:

$$K_v(20^\circ\text{C}) = K_v(25^\circ\text{C}) \times 0,7378 \quad (\text{g} / \text{m}^2 \times 24\text{h})$$

- Debe corregirse dicho coeficiente teniendo en cuenta el espesor real de las muestras, expresado éste en cm y considerándole un parámetro adimensional (sin intervenir en las unidades):

$$K_v^*(20^\circ\text{C}) = K_v(20^\circ\text{C}) \times e \text{ (cm)} \quad (\text{g} / \text{m}^2 \times 24\text{h})$$

- Finalmente calcular el valor medio y la desviación típica.

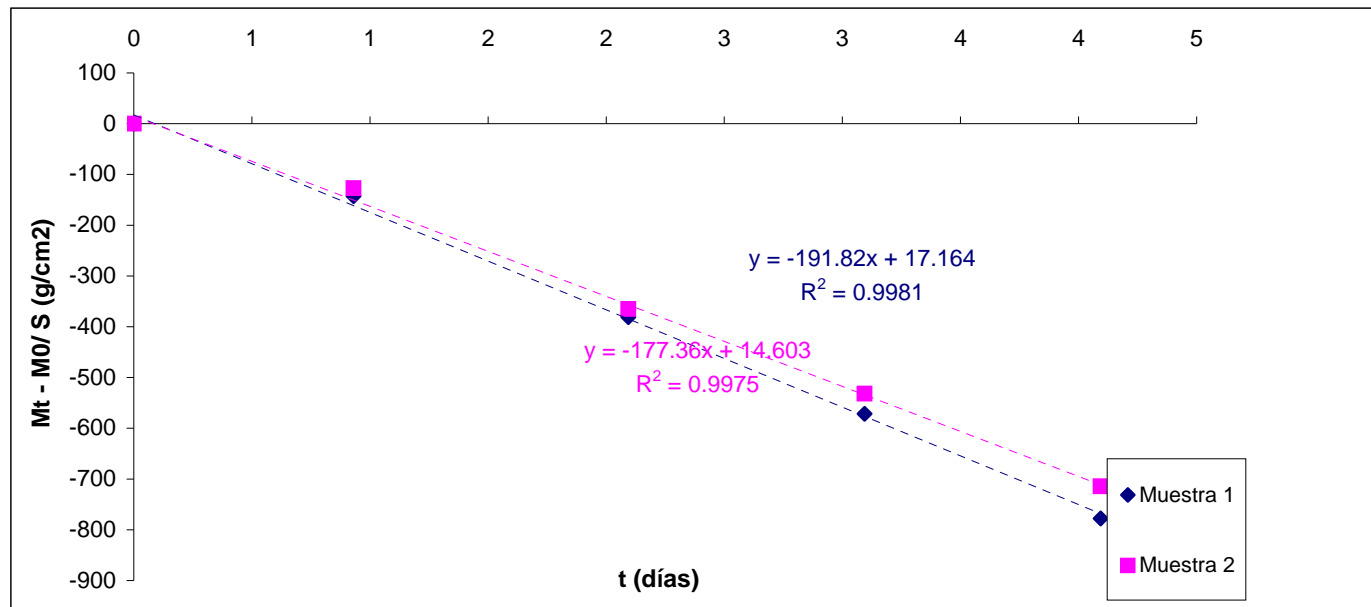
PERMEABILIDAD E35 CON YESO

Resultados									
Unidad Factor			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 25°C									
- Kv (25°C)	(g / m ² x 24h)		172.91	157.1				165.01	11
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 20°C									
- Kv (25°C)	(g / m ² x 24h)	0.7378	128	116	0.000			122	82
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 20°C y corregido el espesor									
- Kv* (25°C)	(g / m ² x 24h)		156	141				149	10

Muestra	Espesor		Media
1	1.22	1.22	1.22
2	1.22	1.22	1.22

Permeabilidad de las placas después del ensayo de capilaridad													
Tiempo					Masa de la				Incremento				
					M _i (g)				ΔM/S (g /				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-3		12.15	0.00	0.00	236.01	236.4			0.00	0.00			0.00
M-4		10.35	22.33	0.93	235.83	236.24			-142.86	-126.98			-134.92
X-5		14.30	50.25	2.09	235.53	235.94			-380.95	-365.08			-373.02
J-6		14.30	74.25	3.09	235.29	235.73			-571.43	-531.75			-551.59
V-7		14.30	98.25	4.09	235.03	235.5			-777.78	-714.29			-746.03
S-8									-187309.52	-187619.05			-187464.29
D-9									-187309.52	-187619.05			-187464.29

PERMEABILIDAD E35 CON YESO



Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		medio	típica
191.82	177.36				185	10
141.525	130.856				136	8
166.999	159.645				163	5

Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	típica
181.08	174.92				178	4
133.601	129.056				131	3
160.321	157.448				159	2.0313

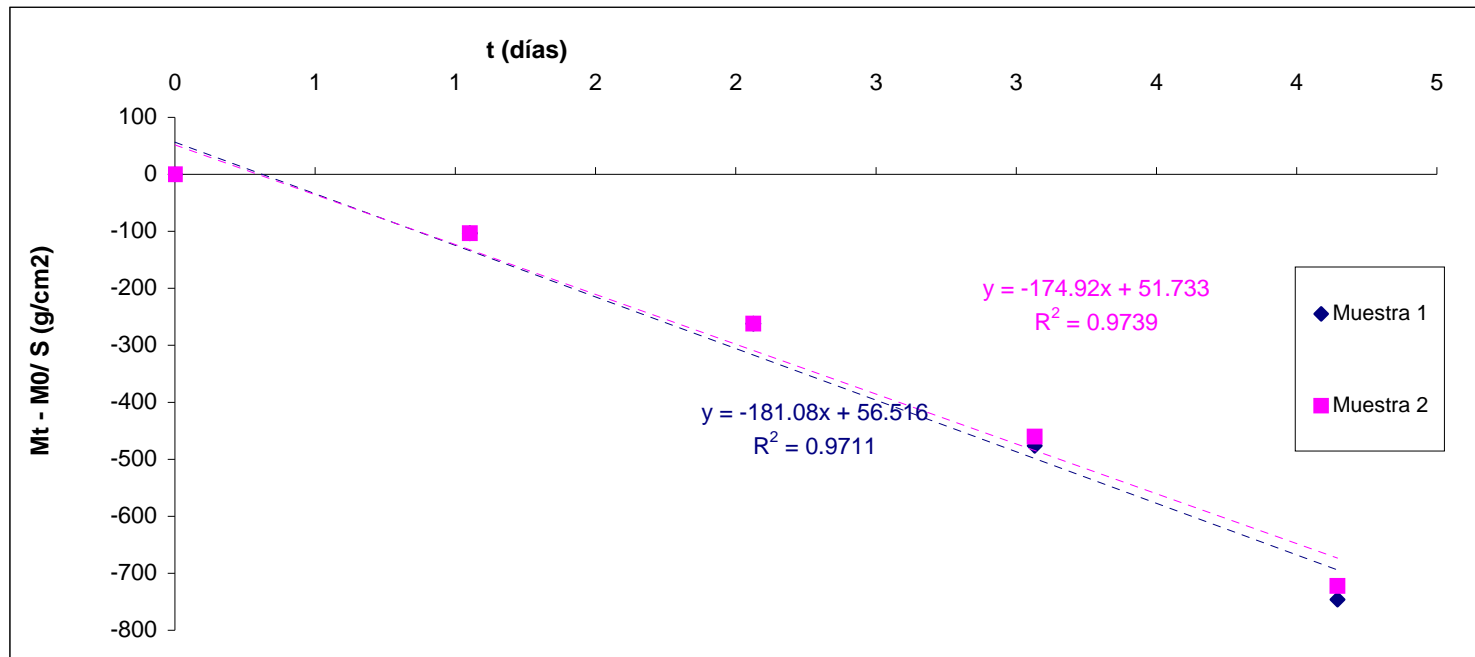
	Muestra 1	Muestra 2
Espesor	1.18	1.22

	Muestra 1	Muestra 2
Espesor	1.2	1.22

PERMEABILIDAD E35 CON YESO

Permeabilidad de las placas tras el ensayo de inmersión

Tiempo					Masa de la célula				Incremento masa /				
					M _t (g)				ΔM/S (g /				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-3		12.00	0.00	0.00	237.22	236.96			0.00	0.00			0.00
M-4		13.15	25.25	1.05	237.09	236.83			-103.17	-103.17			-103.17
X-5		13.30	49.50	2.06	236.89	236.63			-261.90	-261.90			-261.90
J-6		13.35	73.58	3.07	236.62	236.38			-476.19	-460.32			-468.25
V-7		15.30	99.50	4.15	236.28	236.05			-746.03	-722.22			-734.13
S-8									-188269.84	-188063.49			-188166.67
D-9									-188269.84	-188063.49			-188166.67



PERMEABILIDAD E35 0,6 CON CAL

Circulación de humedad en permeámetro (Norma: CNR-ICR NORMAL 21/85)

Muestra: E0,6 CAL

- Superficie del permeámetro constante: **S = 0,00125 m²** (diámetro 4 cm) (m²)

Cálculos:

- Incremento de masa por unidad de superficie en función del tiempo: **(ΔM/S) = (M_t - M₀) / S** (g / m²)

- Coeficiente de permeabilidad al vapor de agua:

. coeficiente simplificado (NORMAL 21/85): **K_v = -(ΔM/S) / t** (g / m² x 24h)

. coeficiente completo (ley de Darcy): **K_v = -(ΔM/S) x e / (t x ΔP)** (g / m x h x mmHg)

Toma de datos

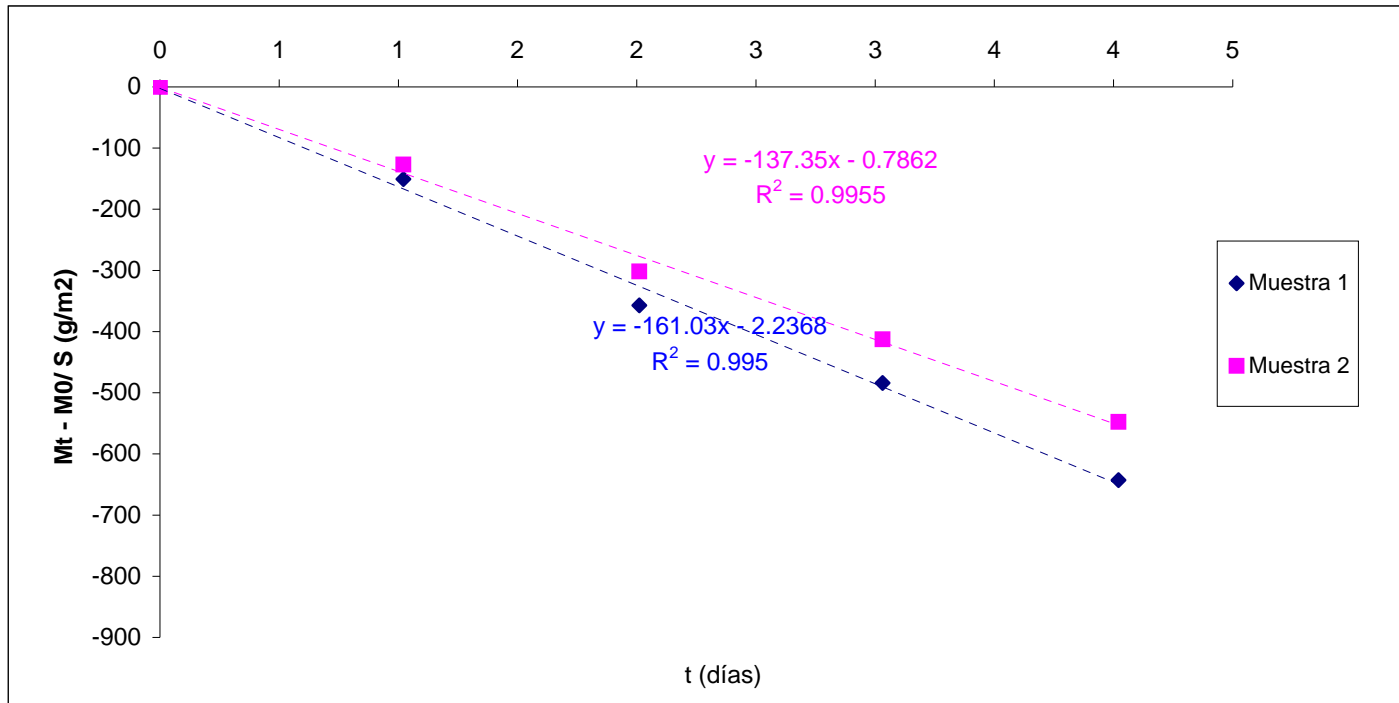
	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Espesor real: e	(cm)	1.22	1.23	#DIV/0!	
Superficie del permeámetro: S	(m ²)	0.00	0.00	0.00	

Tiempo					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M _t (g)				ΔM/S (g / m ²)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-10	11.00	12.00	0.00	0.00	244.2	238.69			0.00	0.00			0.00
M-11	11.30	12.00	24.50	1.02	244.01	238.53			-150.79	-126.98			-138.89
X-12	11.15	12.00	48.25	2.01	243.75	238.31			-357.14	-301.59			-329.37
J-13	11.45	12.00	72.75	3.03	243.59	238.17			-484.13	-412.70			-448.41
V-14	11.30	12.00	96.50	4.02	243.39	238			-642.86	-547.62			-595.24
L-17									-193809.52	-189436.51			-191623.02

PERMEABILIDAD E35 0,6 CON CAL

Representación gráfica:

- Incremento de masa por unidad de superficie ($\Delta M/S$), en función del tiempo (t).



$$K_v(20^\circ\text{C}) / P(20^\circ\text{C}) = K_v(25^\circ\text{C}) / P_v(25^\circ\text{C}).$$

- La presión de vapor $P(20^\circ\text{C}) = 17,53 \text{ mmHg}$ y $P(25^\circ\text{C}) = 23,76 \text{ mmHg}$, entonces:

$$K_v(20^\circ\text{C}) = K_v(25^\circ\text{C}) \times 0,7378 \quad (\text{g} / \text{m}^2 \times 24\text{h})$$

- Debe corregirse dicho coeficiente teniendo en cuenta el espesor real de las muestras, expresado éste en cm y considerándole un parámetro adimensional (sin intervenir en las unidades):

$$K_v^*(20^\circ\text{C}) = K_v(20^\circ\text{C}) \times e \text{ (cm)} \quad (\text{g} / \text{m}^2 \times 24\text{h})$$

- Finalmente calcular el valor medio y la desviación típica.

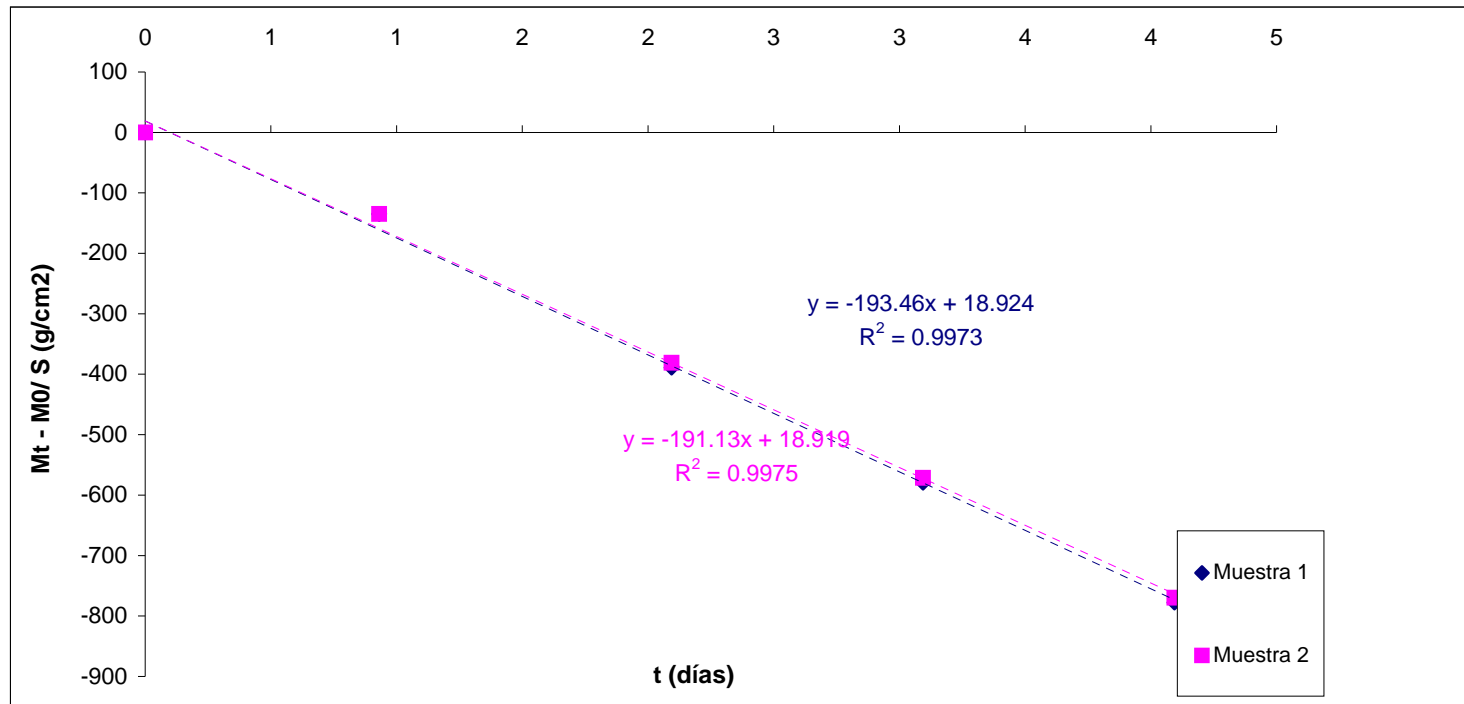
PERMEABILIDAD E35 0,6 CON CAL

Resultados									
Unidad Factor			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 25°C									
- Kv (25°C)	(g / m ² x 24h)		161.03	137.35				149.19	17
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 20°C									
- Kv (25°C)	(g / m ² x 24h)	0.7378	119	101	0.000			110	72
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 20°C y corregido el espesor									
- Kv* (25°C)	(g / m ² x 24h)		145	125				135	14

Muestra	Espesor		Media
1	1.22	1.22	1.22
2	1.23	1.23	1.23
3			#¡DIV/0!

Permeabilidad de las placas después del ensayo de capilaridad													
Tiempo					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M _t (g)				ΔM/S (α / cm ²)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-3		12.15	0.00	0.00	234.54	228.97			0.00	0.00			0.00
M-4		10.35	22.33	0.93	234.37	228.8			-134.92	-134.92			-134.92
X-5		14.30	50.25	2.09	234.05	228.49			-388.89	-380.95			-384.92
J-6		14.30	74.25	3.09	233.81	228.25			-579.37	-571.43			-575.40
V-7		14.30	98.25	4.09	233.56	228			-777.78	-769.84			-773.81
S-8									-186142.86	-181722.22			-183932.54
D-9									-186142.86	-181722.22			-183932.54

PERMEABILIDAD E35 0,6 CON CAL



Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
193.46	191.13				192	2
142.735	141.016				142	1
169.854	169.219				170	0

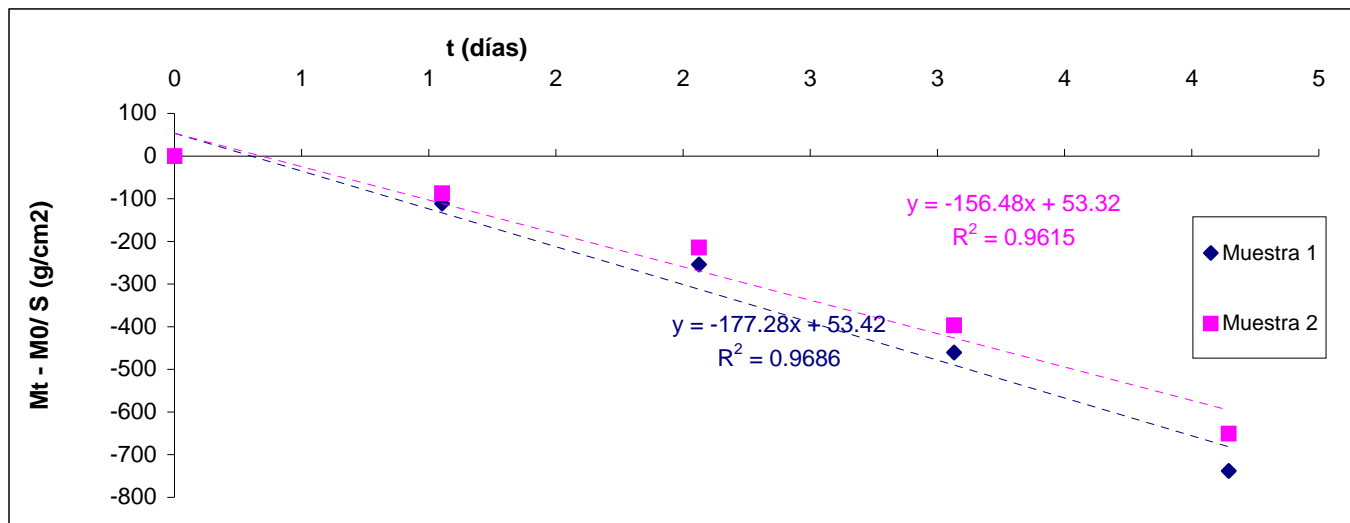
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
177.28	156.48				167	15
130.797	115.451				123	11
158.919	139.118				149	14

PERMEABILIDAD E35 0,6 CON CAL

	Muestra 1	Muestra 2
Espesor	1.19	1.2

	Muestra 1	Muestra 2
Espesor	1.215	1.205

Permeabilidad de las placas después del ensayo de inmersión														
Desviac. típica	Tiempo					Masa de la				Incremento				
						M _t (g)				ΔM/S (g /				
	Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
	L-3		12.00	0.00	0.00	236.05	232.17			0.00	0.00			0.00
15	M-4		13.15	25.25	1.05	235.91	232.06			-111.11	-87.30			-99.21
	X-5		13.30	49.50	2.06	235.73	231.9			-253.97	-214.29			-234.13
11	J-6		13.35	73.58	3.07	235.47	231.67			-460.32	-396.83			-428.57
	V-7		15.30	99.50	4.15	235.12	231.35			-738.10	-650.79			-694.44
14.0008	S-8									-187341.27	-184261.90			-185801.59
	D-9									-187341.27	-184261.90			-185801.59



PERMEABILIDAD E35 0,8 SIN TRATAMIENTO

PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA: DIFUSIVIDAD

Circulación de humedad en permeámetro (Norma: CNR-ICR NORMAL 21/85)

Muestra: **E0,8 BLANCO**

Fecha:

- Superficie del permeámetro constante: **S = 0,00125 m²** (diámetro 4 cm) (m²)

Cálculos:

- Incremento de masa por unidad de superficie en función del tiempo: **(ΔM/S) = (M_t - M₀) / S** (g / m²)

- Coeficiente de permeabilidad al vapor de agua:

. coeficiente simplificado (NORMAL 21/85): **K_v = -(ΔM/S) / t** (g / m² x 24h)

. coeficiente completo (ley de Darcy): **K_v = -(ΔM/S) x e / (t x ΔP)** (g / m x h x mmHg)

Toma de datos

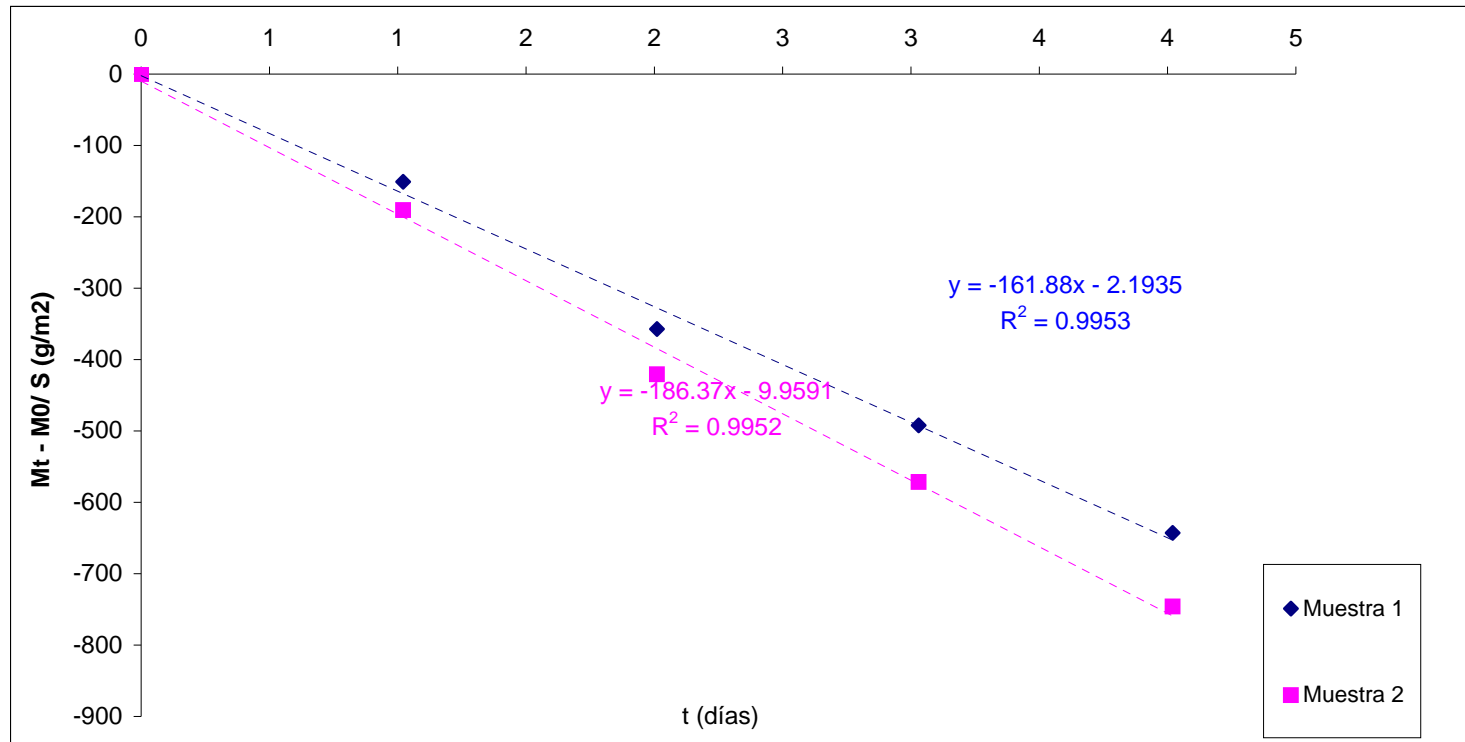
	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Espesor real: e	(cm)	1.20	1.18	#¡DIV/0!	
Superficie del permeámetro: S	(m ²)	0.00	0.00	0.00	

Tiempo					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M _t (g)				ΔM/S (g / m ²)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-10	11.00	12.00	0.00	0.00	234.92	240.7			0.00	0.00	0.00		0.00
M-11	11.30	12.00	24.50	1.02	234.73	240.46			-150.79	-190.48	0.00		-170.63
X-12	11.15	12.00	48.25	2.01	234.47	240.17			-357.14	-420.63	0.00		-388.89
J-13	11.45	12.00	72.75	3.03	234.3	239.98			-492.06	-571.43	0.00		-531.75
V-14	11.30	12.00	96.50	4.02	234.11	239.76			-642.86	-746.03	0.00		-694.44
L-17		12.00	168.00	7.00					-186444.44	-191031.75	0.00		-125825.40

PERMEABILIDAD E35 0,8 SIN TRATAMIENTO

Representación gráfica:

- Incremento de masa por unidad de superficie ($\Delta M/S$), en función del tiempo (t).



$$K_v(20^\circ\text{C}) / P(20^\circ\text{C}) = K_v(25^\circ\text{C}) / P_v(25^\circ\text{C}).$$

- La presión de vapor $P(20^\circ\text{C}) = 17,53$ mmHg y $P(25^\circ\text{C}) = 23,76$ mmHg, entonces:

$$K_v(20^\circ\text{C}) = K_v(25^\circ\text{C}) \times 0,7378 \quad (\text{g} / \text{m}^2 \times 24\text{h})$$

- Debe corregirse dicho coeficiente teniendo en cuenta el espesor real de las muestras, expresado éste en cm y considerándole un parámetro adimensional (sin intervenir en las unidades):

$$K_v^*(20^\circ\text{C}) = K_v(20^\circ\text{C}) \times e \text{ (cm)} \quad (\text{g} / \text{m}^2 \times 24\text{h})$$

- Finalmente calcular el valor medio y la desviación típica.

PERMEABILIDAD E35 0,8 SIN TRATAMIENTO

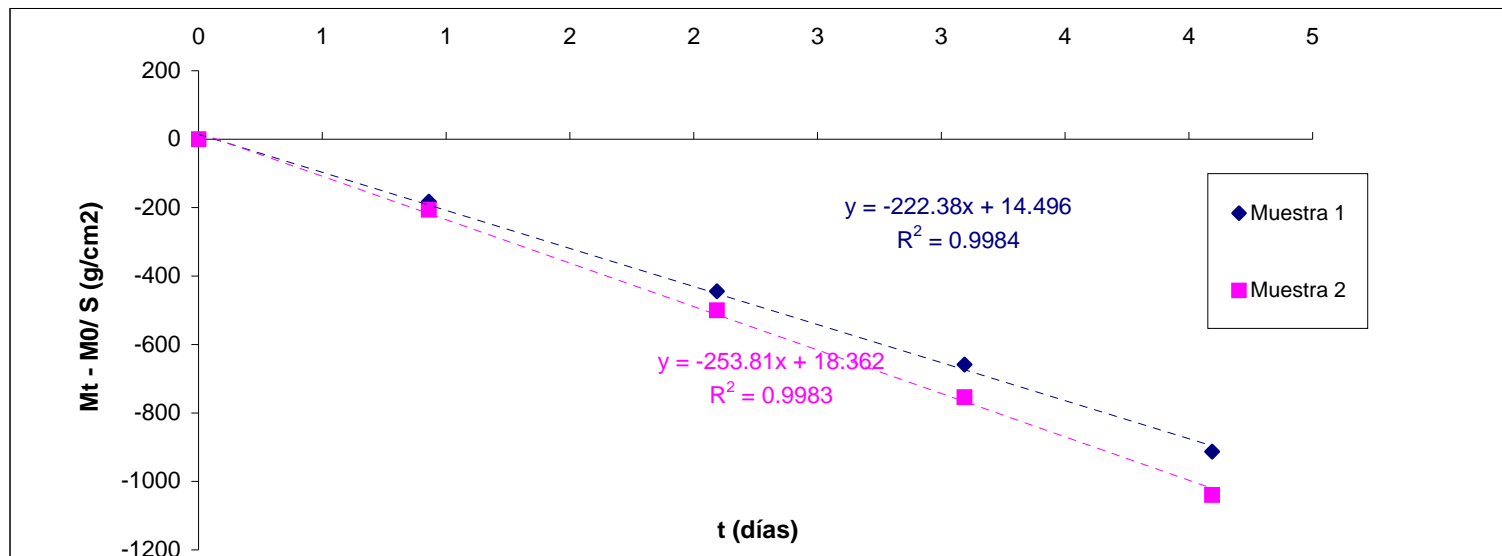
Resultados									
Unidad Factor		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica	
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 25°C									
- Kv (25°C)	(g / m ² x 24h)	161.88	186.37				174	17	
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 20°C									
- Kv (25°C)	(g / m ² x 24h)	0.7378	119	138	0.000		128	97	
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 20°C y corregido el espesor									
- Kv* (25°C)	(g / m ² x 24h)		143	162			153	13	

Muestra	Espesor			Media
1	1.20	1.20	1.20	1.20
2	1.18	1.18	1.18	1.18
3				#¡DIV/0!

Permeabilidad de las placas tras el ensayo de inmersión													
Tiempo					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M _i (g)				ΔM/S (α / cm ²)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-3		12.00	0.00	0.00	232.19	231.25			0.00	0.00			0.00
M-4		13.15	25.25	1.05	232.03	231.09			-126.98	-126.98			-126.98
X-5		13.30	49.50	2.06	231.83	230.9			-285.71	-277.78			-281.75
J-6		13.35	73.58	3.07	231.56	230.6			-500.00	-515.87			-507.94
V-7		15.30	99.50	4.15	231.19	230.24			-793.65	-801.59			-797.62
S-8									-184277.78	-183531.75			-183904.76
D-9									-184277.78	-183531.75			-183904.76

PERMEABILIDAD E35 0,8 SIN TRATAMIENTO

Permeabilidad de las placas después del ensayo de capilaridad													
Tiempo					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M _t (g)				ΔM/S (α / cm ²)				
Día	Hora	Hora	t (rel)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-3		12.15	0.00	0.00	229.75	228.89			0.00	0.00	0.00		0.00
M-4		10.35	22.33	0.93	229.52	228.63			-182.54	-206.35	0.00		-194.44
X-5		14.30	50.25	2.09	229.19	228.26			-444.44	-500.00	0.00		-472.22
J-6		14.30	74.25	3.09	228.92	227.94			-658.73	-753.97	0.00		-706.35
V-7		14.30	98.25	4.09	228.6	227.58			-912.70	-1039.68	0.00		-976.19
S-8				5.00					-182341.27	-181658.73	0.00		-121333.33
D-9				6.00					-182341.27	-181658.73	0.00		-121333.33



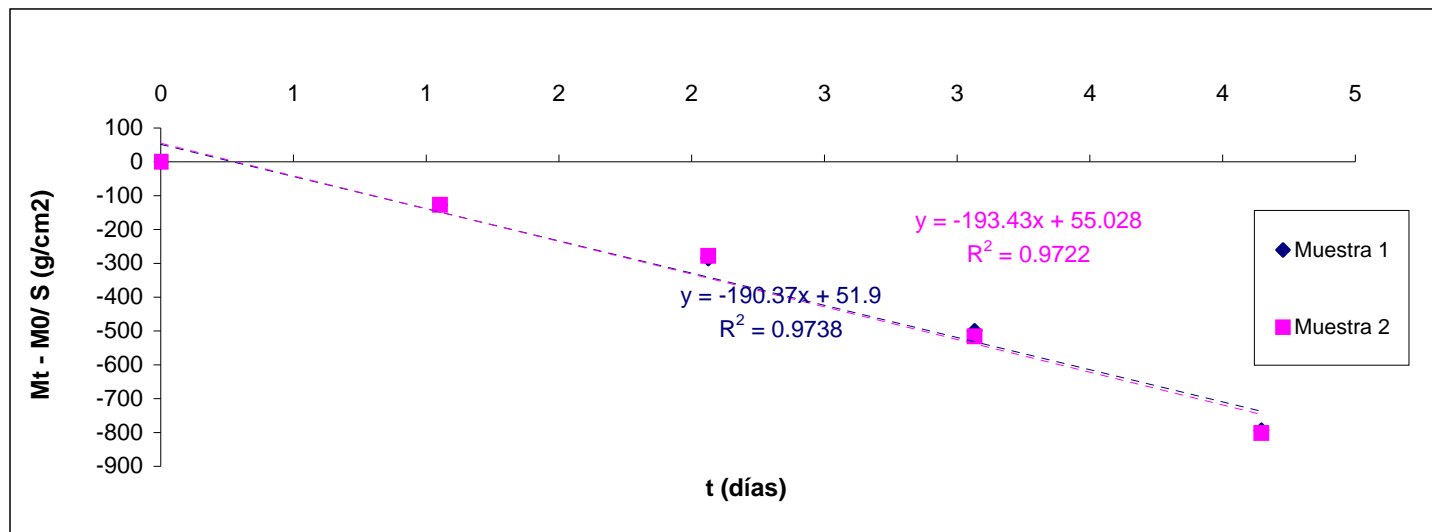
PERMEABILIDAD E35 0,8 SIN TRATAMIENTO

0	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
222.38	253.81				222	#DIV/0!
0.000	187.261				164	#DIV/0!
#REF!	218.159				190	#DIV/0!

	Muestra 1	Muestra 2
Espesor	1.16	1.165

Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
190.37	193.43				192	2
140.455	142.713				142	2
165.035	164.833				165	0.1425

	Muestra 1	Muestra 2
Espesor	1.175	1.155



ESCAYOLA E35 0,8 CON YESO

PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA: DIFUSIVIDAD

Circulación de humedad en permeámetro (Norma: CNR-ICR NORMAL 21/85)

Muestra:

E0.8 YESO

Fecha:

- Superficie del permeámetro constante: $S = 0,00125 \text{ m}^2$ (diámetro 4 cm)

(m^2)

Cálculos:

- Incremento de masa por unidad de superficie en función del tiempo: $(\Delta M/S) = (M_t - M_o) / S$

(g / m^2)

- Coeficiente de permeabilidad al vapor de agua:

. coeficiente simplificado (NORMAL 21/85): $K_v = -(\Delta M/S) / t$

($\text{g} / \text{m}^2 \times 24\text{h}$)

. coeficiente completo (ley de Darcy): $K_v = -(\Delta M/S) \times e / (t \times \Delta P)$

($\text{g} / \text{m} \times \text{h} \times \text{mmHg}$)

Toma de datos

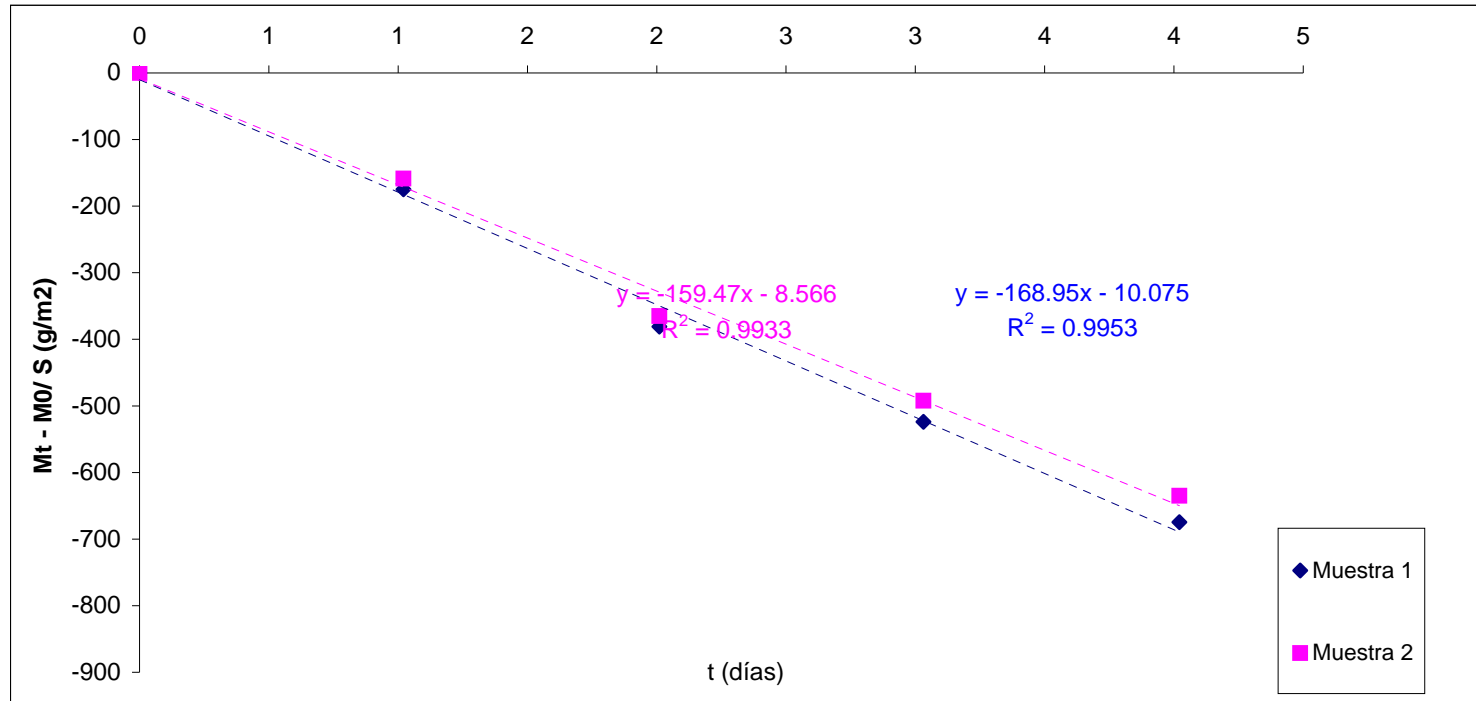
	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Espesor real: e	(cm)	1.22	1.20	#¡DIV/0!	
Superficie del permeámetro: S	(m^2)	0.00	0.00	0.00	

Tiempo					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M_t (g)				$\Delta M/S$ (g / m^2)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-10	11.00	12.00	0.00	0.00	237.02	234.53			0.00	0.00			0.00
M-11	11.30	12.00	24.50	1.02	236.8	234.33			-174.60	-158.73			-166.67
X-12	11.15	12.00	48.25	2.01	236.54	234.07			-380.95	-365.08			-373.02
J-13	11.45	12.00	72.75	3.03	236.36	233.91			-523.81	-492.06			-507.94
V-14	11.30	12.00	96.50	4.02	236.17	233.73			-674.60	-634.92			-654.76
L-17									-188111.11	-186134.92			-187123.02

ESCAYOLA E35 0,8 CON YESO

Representación gráfica:

- Incremento de masa por unidad de superficie ($\Delta M/S$), en función del tiempo (t).



$$K_v(20^\circ\text{C}) / P(20^\circ\text{C}) = K_v(25^\circ\text{C}) / P_v(25^\circ\text{C}).$$

- La presión de vapor $P(20^\circ\text{C}) = 17,53 \text{ mmHg}$ y $P(25^\circ\text{C}) = 23,76 \text{ mmHg}$, entonces:

$$K_v(20^\circ\text{C}) = K_v(25^\circ\text{C}) \times 0,7378 \quad (\text{g} / \text{m}^2 \times 24\text{h})$$

- Debe corregirse dicho coeficiente teniendo en cuenta el espesor real de las muestras, expresado éste en cm y considerándole un parámetro adimensional (sin intervenir en las unidades):

$$K_v^*(20^\circ\text{C}) = K_v(20^\circ\text{C}) \times e \text{ (cm)} \quad (\text{g} / \text{m}^2 \times 24\text{h})$$

- Finalmente calcular el valor medio y la desviación típica.

ESCAYOLA E35 0,8 CON YESO

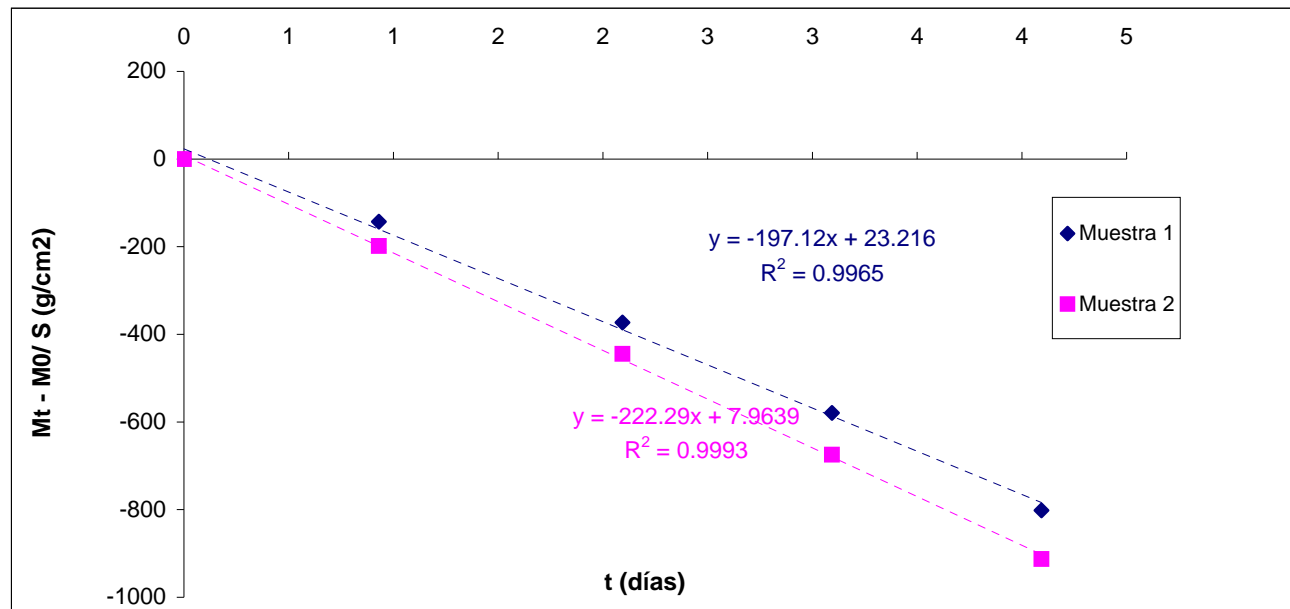
Resultados									
Unidad Factor			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 25°C									
- Kv (25°C)	(g / m ² x 24h)		168.95	159.47				164.21	7
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 20°C									
- Kv (25°C)	(g / m ² x 24h)	0.7378	125	118	0.000			121	83
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 20°C y corregido el espesor									
- Kv* (25°C)	(g / m ² x 24h)		152	141				147	8

Muestra	Espesor		Media
1	1.22	1.22	1.22
2	1.20	1.20	1.20
3			#¡DIV/0!

Permeabilidad de las placas tras el ensayo de inmersión													
Tiempo					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M _i (g)				ΔM/S (α / cm ²)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-3		12.00	0.00	0.00	231.72	224.04			0.00	0.00			0.00
M-4		13.15	25.25	1.05	231.58	223.9			-111.11	-111.11			-111.11
X-5		13.30	49.50	2.06	231.4	223.73			-253.97	-246.03			-250.00
J-6		13.35	73.58	3.07	231.14	223.47			-460.32	-452.38			-456.35
V-7		15.30	99.50	4.15	230.8	223.14			-730.16	-714.29			-722.22
S-8									-183904.76	-177809.52			-180857.14
D-9									-183904.76	-177809.52			-180857.14

ESCAYOLA E35 0,8 CON YESO

Permeabilidad de las placas después del ensayo de capilaridad													
Tiempo					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M_t (g)				$\Delta M/S$ (g / cm ²)				
Día	Hora	Hora	t (rel)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-3		12.15	0.00	0.00	231.32	232.24			0.00	0.00			0.00
M-4		10.35	22.33	0.93	231.14	231.99			-142.86	-198.41			-170.63
X-5		14.30	50.25	2.09	230.85	231.68			-373.02	-444.44			-408.73
J-6		14.30	74.25	3.09	230.59	231.39			-579.37	-674.60			-626.98
V-7		14.30	98.25	4.09	230.31	231.09			-801.59	-912.70			-857.14
S-8									-183587.30	-184317.46			-183952.38
D-9									-183587.30	-184317.46			-183952.38



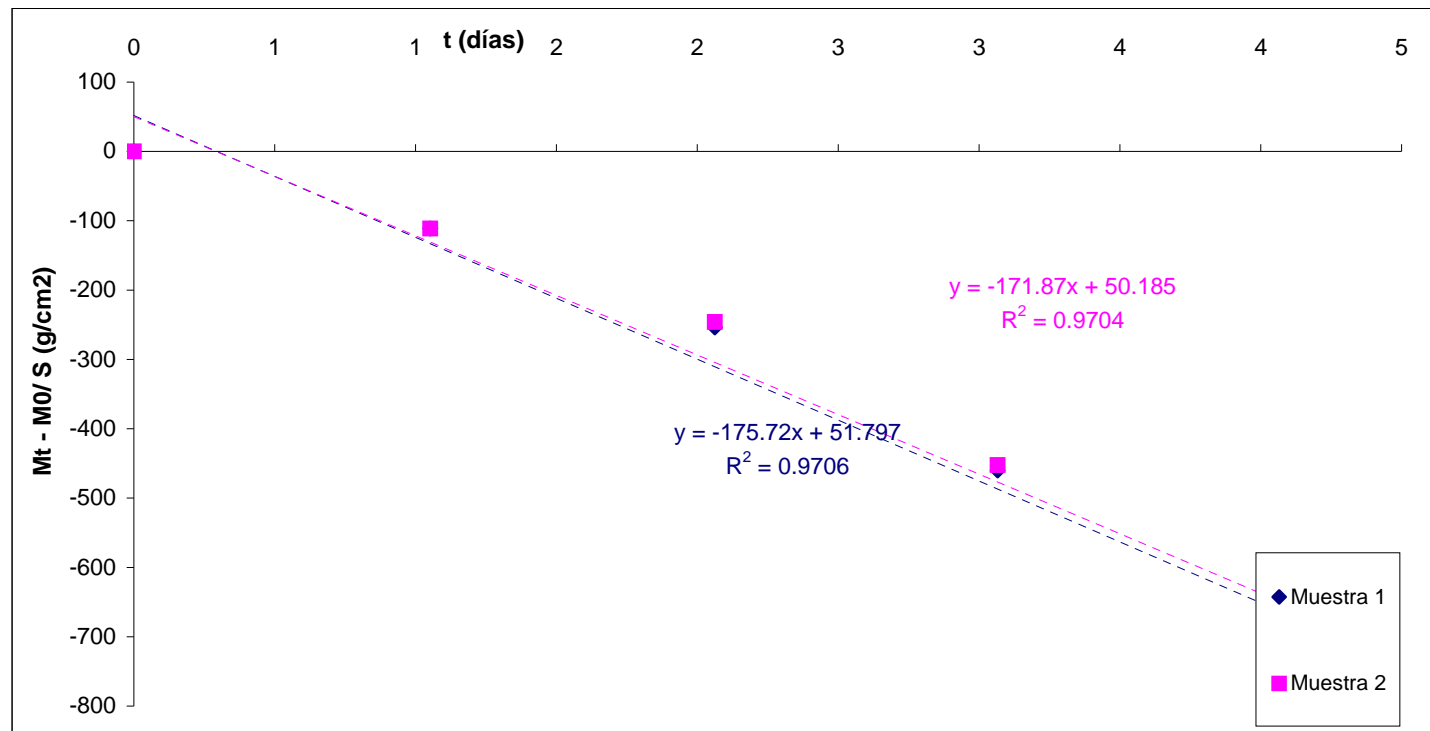
ESCAYOLA E35 0,8 CON YESO

Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
197.12	222.29				210	18
145.435	164.006				155	13
173.795	195.167				184	15

	Muestra 1	Muestra 2
Espesor	1.195	1.19

Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
175.72	171.87				174	3
129.646	126.806				128	2
156.224	154.703				155	1.0753

	Muestra 1	Muestra 2
Espesor	1.205	1.22



ESCAYOLA E35 0,8 CON CAL

PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA: DIFUSIVIDAD

Circulación de humedad en permeámetro (Norma: CNR-ICR NORMAL 21/85)

Muestra:

E0.8 CAL

Fecha:

(m²)

- Superficie del permeámetro constante: **S = 0,00125 m²** (diámetro 4 cm)

Cálculos:

- Incremento de masa por unidad de superficie en función del tiempo: **($\Delta M/S$) = ($M_t - M_o$) / S** (g / m²)

- Coeficiente de permeabilidad al vapor de agua:

. coeficiente simplificado (NORMAL 21/85): **K_v = -($\Delta M/S$) / t** (g / m² x 24h)

. coeficiente completo (ley de Darcy): **K_v = -($\Delta M/S$) x e) / (t x ΔP)** (g / m x h x mmHg)

Toma de datos

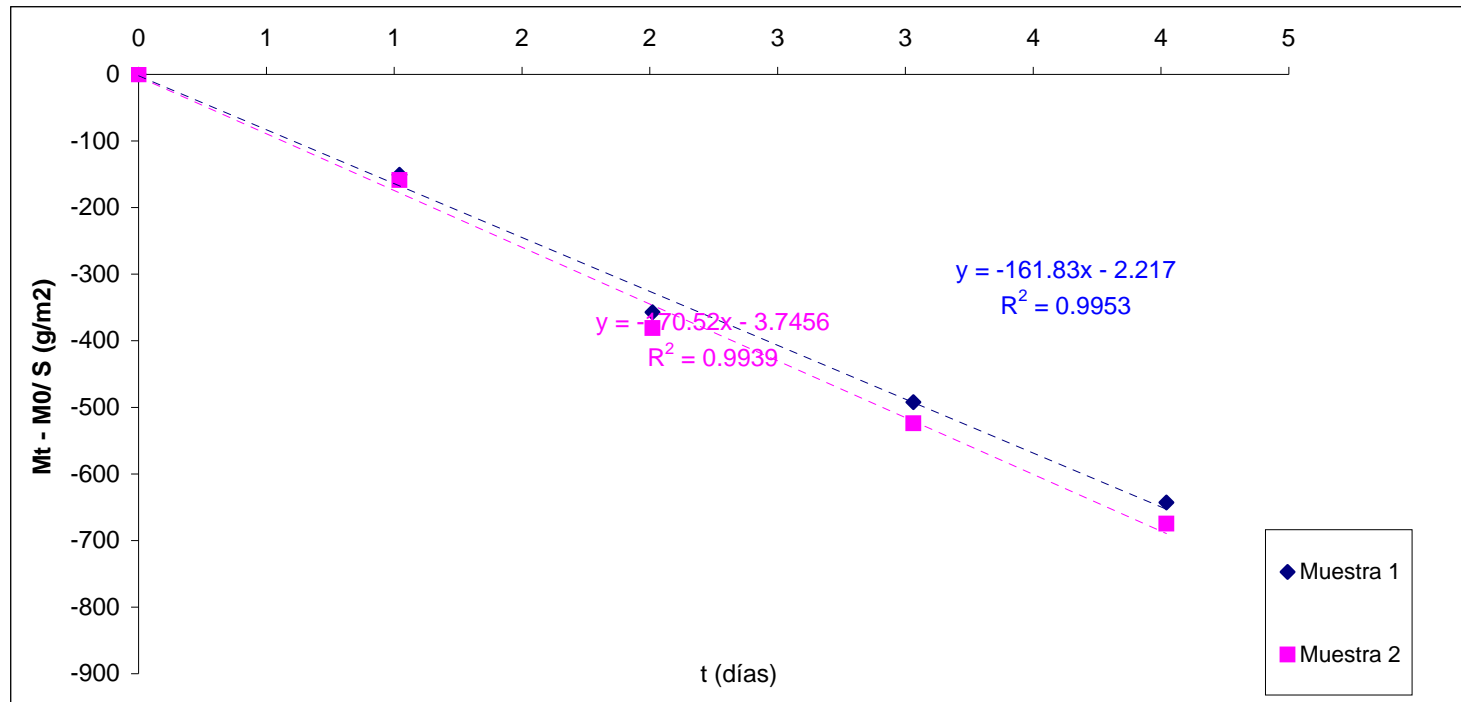
	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Espesor real: e	(cm)	1.19	1.21	#¡DIV/0!	
Superficie del permeámetro: S	(m ²)	0.00	0.00	0.00	

Tiempo					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M _t (g)				$\Delta M/S$ (g / m ²)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-10	11.00	12.00	0.00	0.00	243.01	243.39			0.00	0.00			0.00
M-11	11.30	12.00	24.50	1.02	242.82	243.19			-150.79	-158.73			-154.76
X-12	11.15	12.00	48.25	2.01	242.56	242.91			-357.14	-380.95			-369.05
J-13	11.45	12.00	72.75	3.03	242.39	242.73			-492.06	-523.81			-507.94
V-14	11.30	12.00	96.50	4.02	242.2	242.54			-642.86	-674.60			-658.73
L-17									-192865.08	-193166.67			-193015.87

ESCAYOLA E35 0,8 CON CAL

Representación gráfica:

- Incremento de masa por unidad de superficie ($\Delta M/S$), en función del tiempo (t).



$$K_v(20^\circ\text{C}) / P(20^\circ\text{C}) = K_v(25^\circ\text{C}) / P_v(25^\circ\text{C}).$$

- La presión de vapor $P(20^\circ\text{C}) = 17,53 \text{ mmHg}$ y $P(25^\circ\text{C}) = 23,76 \text{ mmHg}$, entonces:

$$K_v(20^\circ\text{C}) = K_v(25^\circ\text{C}) \times 0,7378 \quad (\text{g} / \text{m}^2 \times 24\text{h})$$

- Debe corregirse dicho coeficiente teniendo en cuenta el espesor real de las muestras, expresado éste en cm y considerándole un parámetro adimensional (sin intervenir en las unidades):

$$K_v^*(20^\circ\text{C}) = K_v(20^\circ\text{C}) \times e \text{ (cm)} \quad (\text{g} / \text{m}^2 \times 24\text{h})$$

- Finalmente calcular el valor medio y la desviación típica.

ESCAYOLA E35 0,8 CON CAL

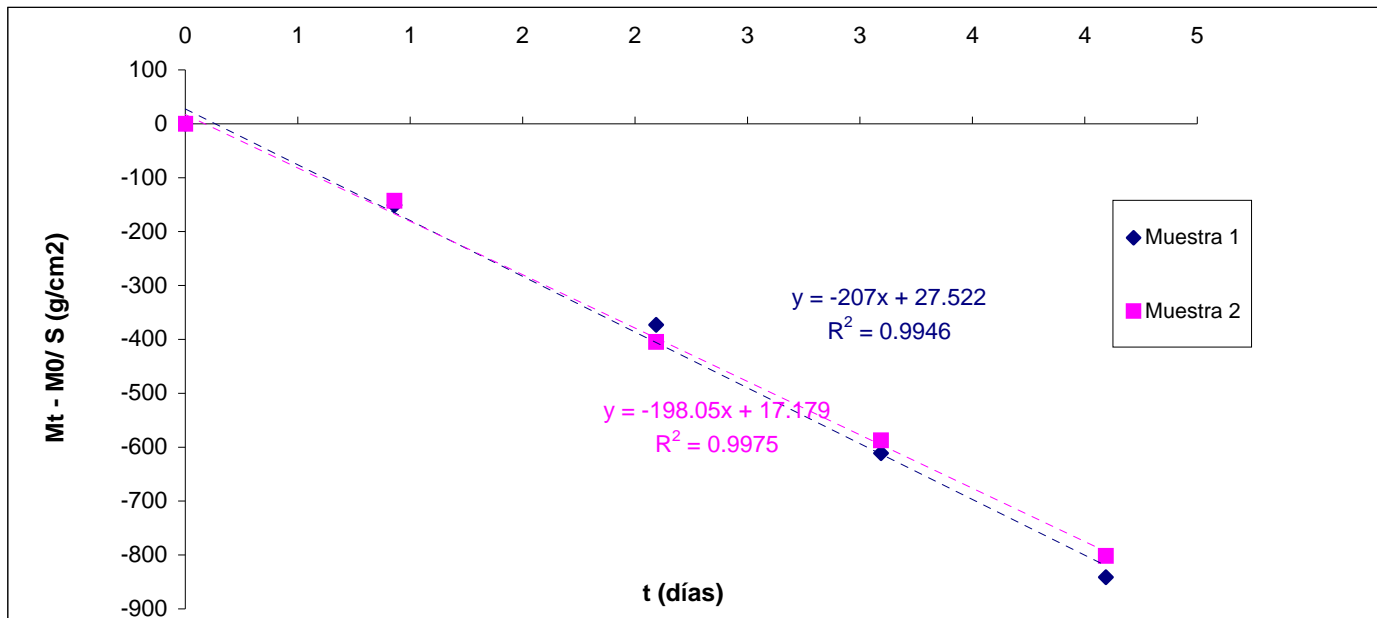
Resultados									
Unidad Factor			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 25°C									
- Kv (25°C)	(g / m ² x 24h)		161.83	170.52				166.18	6
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 20°C									
- Kv (25°C)	(g / m ² x 24h)	0.7378	119	126	0.000			123	89
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 20°C y corregido el espesor									
- Kv* (25°C)	(g / m ² x 24h)		142	152				147	7

Muestra	Espesor		Media
1	1.19	1.19	1.19
2	1.21	1.21	1.21
3			#¡DIV/0!

Permeabilidad de las placas tras el ensayo de inmersión													
Tiempo					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M _i (g)				ΔM/S (α / cm ²)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-3		12.00	0.00	0.00	227.59	225.17			0.00	0.00			0.00
M-4		13.15	25.25	1.05	227.45	225.02			-111.11	-119.05			-115.08
X-5		13.30	49.50	2.06	227.28	224.84			-246.03	-261.90			-253.97
J-6		13.35	73.58	3.07	227.04	224.57			-436.51	-476.19			-456.35
V-7		15.30	99.50	4.15	226.71	224.23			-698.41	-746.03			-722.22
S-8									-180626.98	-178706.35			-179666.67
D-9									-180626.98	-178706.35			-179666.67

ESCAYOLA E35 0,8 CON CAL

Permeabilidad de las placas después del ensayo de capilaridad													
Tiempo					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M _t (g)				ΔM/S (g / cm ²)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-3		12.15	0.00	0.00	234.48	228.09			0.00	0.00			0.00
M-4		10.35	22.33	0.93	234.29	227.91			-150.79	-142.86			-146.83
X-5		14.30	50.25	2.09	234.01	227.58			-373.02	-404.76			-388.89
J-6		14.30	74.25	3.09	233.71	227.35			-611.11	-587.30			-599.21
V-7		14.30	98.25	4.09	233.42	227.08			-841.27	-801.59			-821.43
S-8									-186095.24	-181023.81			-183559.52
D-9									-186095.24	-181023.81			-183559.52



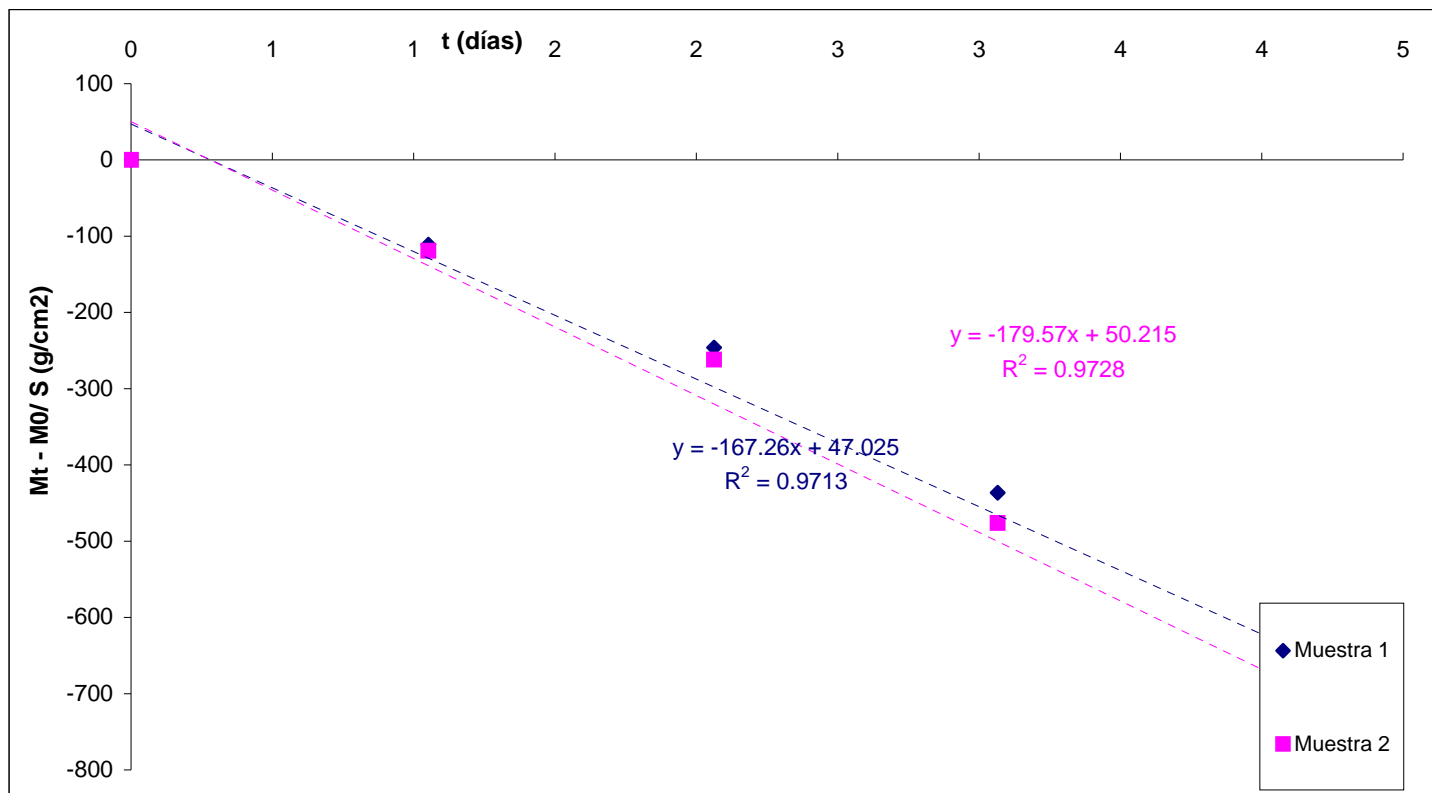
ESCAYOLA E35 0,8 CON CAL

Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
207	198.05				203	6
152.725	146.121				149	5
183.270	176.807				180	5

Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
167.26	179.57				173	9
123.404	132.487				128	6
155.490	158.322				157	2.0026

	Muestra 1	Muestra 2
Espesor	1.2	1.21

	Muestra 1	Muestra 2
Espesor	1.26	1.195



PERMEABILIDAD YESO 0,6 SIN TRATAMIENTO

PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA: DIFUSIVIDAD

Circulación de humedad en permeámetro (Norma: CNR-ICR NORMAL 21/85)

Muestra: YESO GRU ESO 0.6 BLANCO

Fecha:

- Superficie del permeámetro constante: **S = 0,00125 m²** (diámetro 4 cm)

(m²)

Cálculos:

- Incremento de masa por unidad de superficie en función del tiempo: **(ΔM/S) = (M_t - M₀) / S**

(g / m²)

- Coeficiente de permeabilidad al vapor de agua:

. coeficiente simplificado (NORMAL 21/85): **Kv = -(ΔM/S) / t**

(g / m² x 24h)

. coeficiente completo (ley de Darcy): **Kv = -(ΔM/S) x e / (t x ΔP)**

(g / m x h x mmHg)

Toma de datos

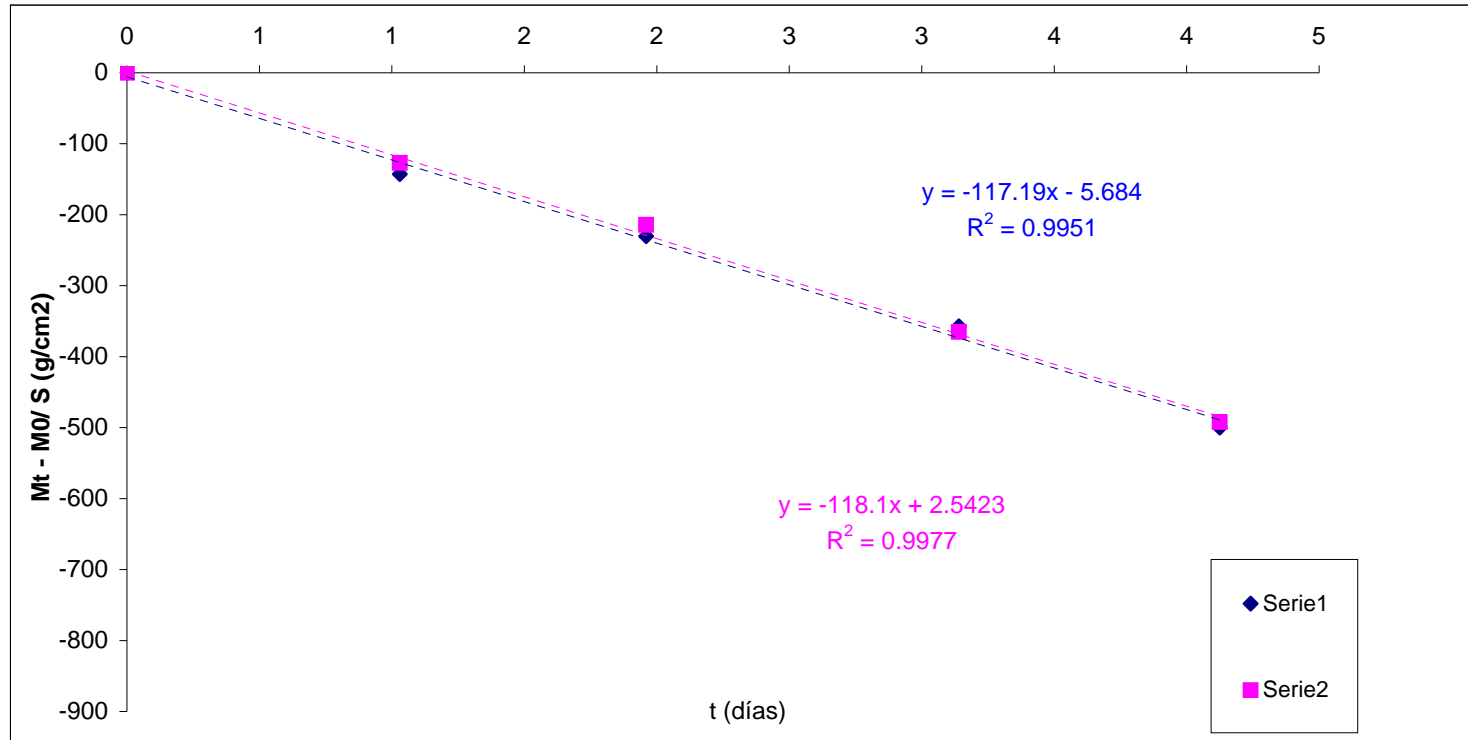
	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Espesor real: e	(cm)	1.19	1.19	#¡DIV/0!	
Superficie del permeámetro: S	(m ²)	0.00	0.00	0.00	

Tiempo					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M _t (g)				ΔM/S (g / cm ²)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-10	12.00	12.00	0.00	0.00	238.67	242.65			0.00	0.00	0.00		0.00
M-11	12.45	12.00	24.75	1.03	238.49	242.49			-142.86	-126.98	0.00		-89.95
X-12	11.00	12.00	47.00	1.96	238.38	242.38			-230.16	-214.29	0.00		-148.15
J-13	3.30	12.00	75.50	3.14	238.22	242.19			-357.14	-365.08	0.00		-240.74
V-14	3.00	12.00	99.00	4.13	238.04	242.03			-500.00	-492.06	0.00		-330.69
L-17									-189420.63	-192579.37	0.00		-127333.33

PERMEABILIDAD YESO 0,6 SIN TRATAMIENTO

Representación gráfica:

- Incremento de masa por unidad de superficie ($\Delta M/S$), en función del tiempo (t).



$$K_v(20^\circ\text{C}) / P(20^\circ\text{C}) = K_v(25^\circ\text{C}) / P_v(25^\circ\text{C}).$$

- La presión de vapor $P(20^\circ\text{C}) = 17,53 \text{ mmHg}$ y $P(25^\circ\text{C}) = 23,76 \text{ mmHg}$, entonces:

$$K_v(20^\circ\text{C}) = K_v(25^\circ\text{C}) \times 0,7378 \quad (\text{g} / \text{m}^2 \times 24\text{h})$$

- Debe corregirse dicho coeficiente teniendo en cuenta el espesor real de las muestras, expresado éste en cm y considerándole un parámetro adimensional (sin intervenir en las unidades):

$$K_v^*(20^\circ\text{C}) = K_v(20^\circ\text{C}) \times e \text{ (cm)} \quad (\text{g} / \text{m}^2 \times 24\text{h})$$

- Finalmente calcular el valor medio y la desviación típica.

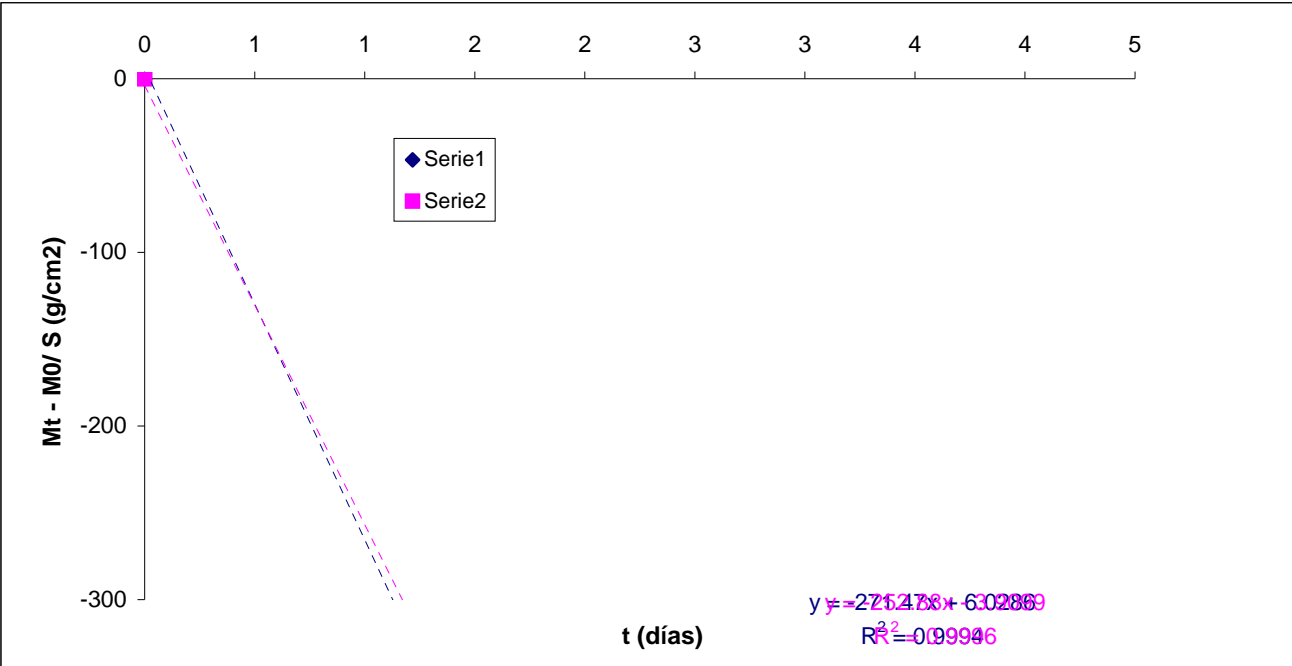
PERMEABILIDAD YESO 0,6 SIN TRATAMIENTO

Resultados									
Unidad Factor			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 25°C									
- Kv (25°C)	(g / m ² x 24h)		117.19	118.1				118	0
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 20°C									
- Kv (25°C)	(g / m ² x 24h)	0.7378	86.463	87.134	0.000			58	62
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 20°C y corregido el espesor									
- Kv* (25°C)	(g / m ² x 24h)		102.891	103.690	0.000			103	0

Muestra	Espesor		Media
1	1.19	1.19	1.19
2	1.19	1.19	1.19
3			#¡DIV/0!

Permeabilidad de las placas después del ensayo de capilaridad													
					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M _i (g)				ΔM/S (α / cm ²)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-3		11.30	0.00	0.00	232.36	237.34			0.00	0.00	0.00		0.00
M-4		18.15	30.75	1.28	231.95	236.93			-325.40	-325.40	0.00		-216.93
X-5		18.30	55.00	2.29	231.57	236.59			-626.98	-595.24	0.00		-407.41
J-6									-184412.70	-188365.08	0.00		-124259.26
V-7		14.30	99.00	4.12	230.96	236.03			-1111.11	-1039.68	0.00		-716.93
S-8									-184412.70	-188365.08	0.00		-124259.26
D-9									-184412.70	-188365.08	0.00		-124259.26

PERMEABILIDAD YESO 0,6 SIN TRATAMIENTO

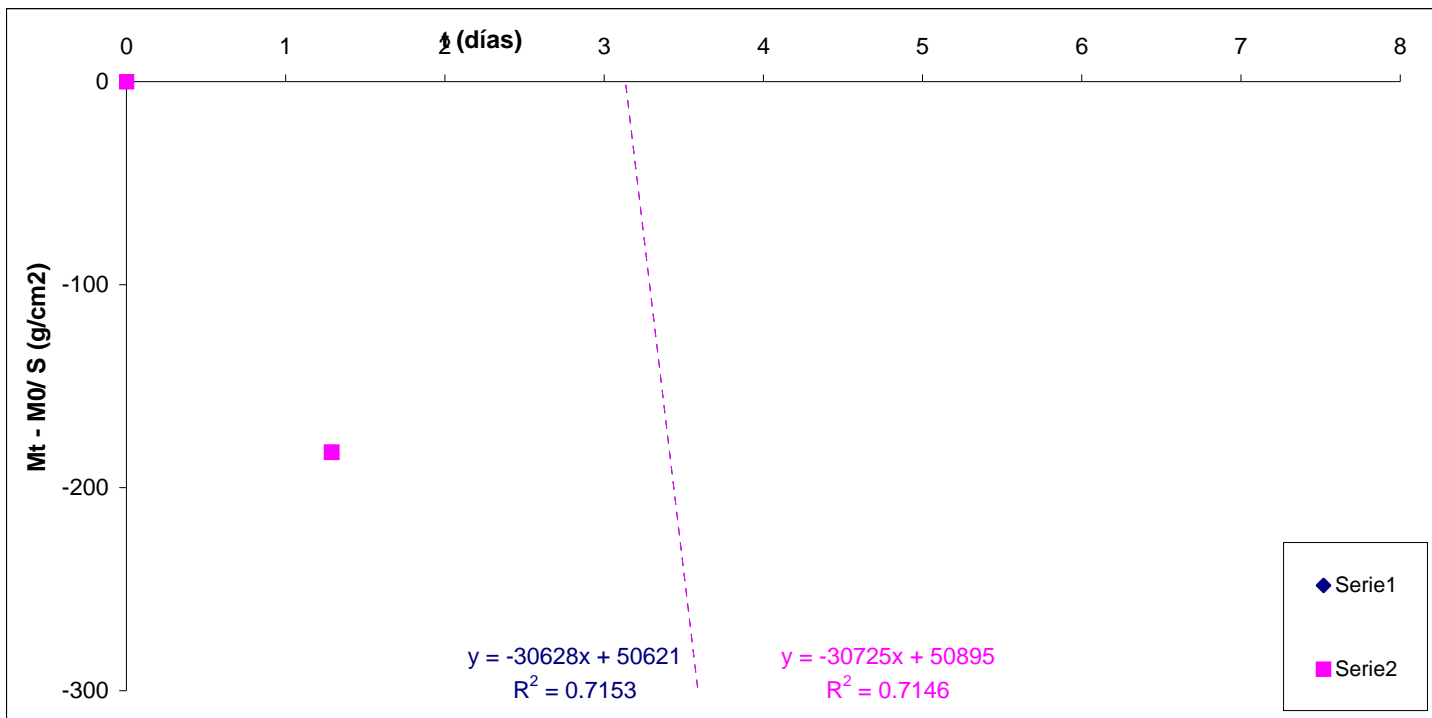


Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
271.47	252.88				262	13
200.291	186.575				193	10
238.346	222.024				230	12

Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
242.65	187.98				215	39
179.027	138.692				159	29
213.042	165.043				189	34

PERMEABILIDAD YESO 0,6 SIN TRATAMIENTO

Permeabilidad de las placas tras el ensayo de inmersión													
Tiempo					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M _i (g)				$\Delta M/S$ (g / cm ²)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-3		12.00	0.00	0.00	234.97	235.65			0.00	0.00	0.00		0.00
M-4		19.00	31.00	1.29	234.59	235.42			-301.59	-182.54	0.00		-161.38
X-5		16.30	52.50	2.19	234.34	235.21			-500.00	-349.21	0.00		-283.07
J-6		18.30	78.50	3.27	234.02	234.94			-753.97	-563.49	0.00		-439.15
V-7		14.00	98.00	4.08	233.7	234.68			-1007.94	-769.84	0.00		-592.59
S-8									-186484.13	-187023.81	0.00		-124502.65
D-9									-186484.13	-187023.81	0.00		-124502.65



PERMEABILIDAD YESO 0,6 CON YESO

PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA: DIFUSIVIDAD

Circulación de humedad en permeámetro (Norma: CNR-ICR NORMAL 21/85)

Muestra: **YESO GRU** ESO 0.6 YESO

Fecha:

- Superficie del permeámetro constante: $S = 0,00125 \text{ m}^2$ (diámetro 4 cm) (m^2)

Cálculos:

- Incremento de masa por unidad de superficie en función del tiempo: $(\Delta M/S) = (M_t - M_o) / S$ (g / m^2)

- Coeficiente de permeabilidad al vapor de agua:

. coeficiente simplificado (NORMAL 21/85): $K_v = -(\Delta M/S) / t$ $(\text{g} / \text{m}^2 \times 24\text{h})$

. coeficiente completo (ley de Darcy): $K_v = -(\Delta M/S) \times e / (t \times \Delta P)$ $(\text{g} / \text{m} \times \text{h} \times \text{mmHg})$

Toma de datos

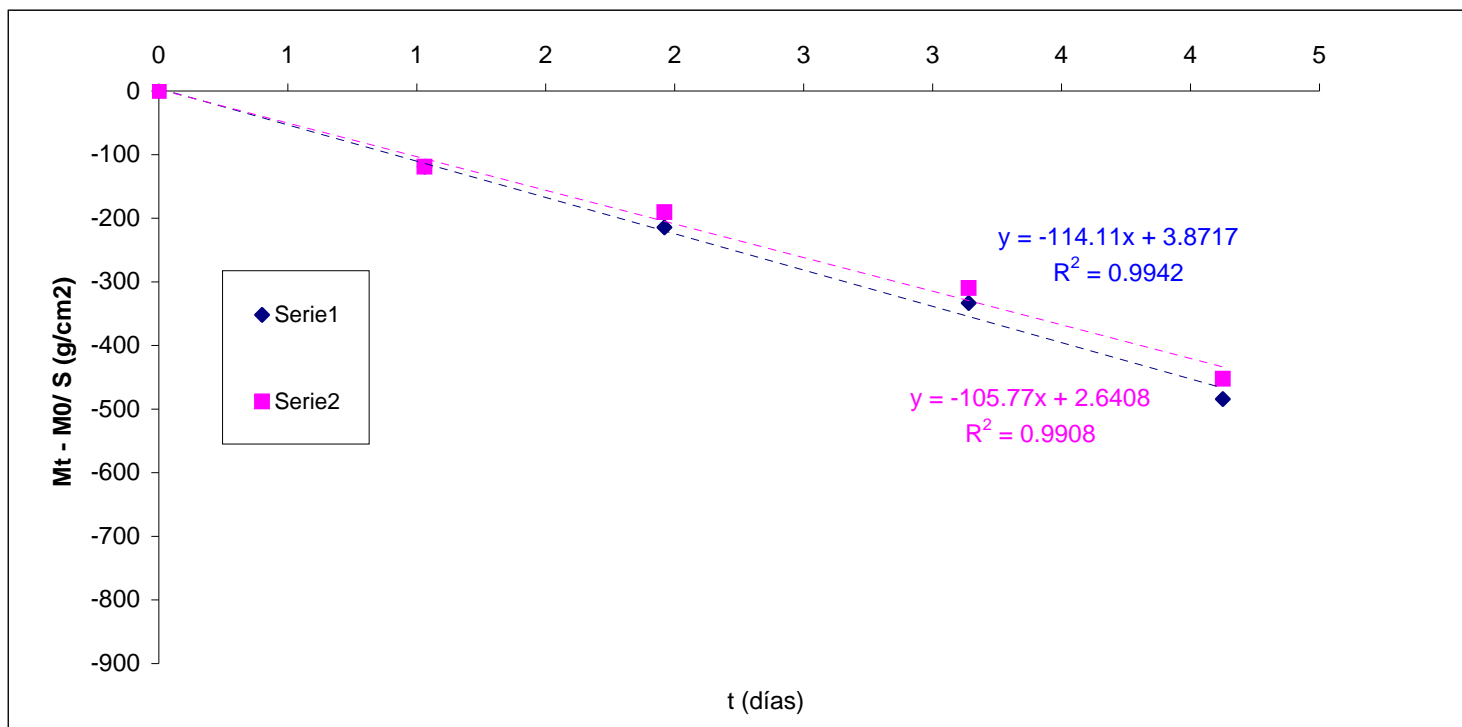
	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Espesor real: e	(cm)	1.20	1.21	#¡DIV/0!	
Superficie del permeámetro: S	(m ²)	0.00	0.00	0.00	

Tiempo					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M _t (g)				ΔM/S (g / cm ²)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-10	12.00	12.00	0.00	0.00	246	241.14			0.00	0.00	0.00		0.00
M-11	12.45	12.00	24.75	1.03	245.85	240.99			-119.05	-119.05	0.00		-79.37
X-12	11.00	12.00	47.00	1.96	245.73	240.9			-214.29	-190.48	0.00		-134.92
J-13	3.30	12.00	75.50	3.14	245.58	240.75			-333.33	-309.52	0.00		-214.29
V-14	3.00	12.00	99.00	4.13	245.39	240.57			-484.13	-452.38	0.00		-312.17
L-17									-195238.10	-191380.95	0.00		-128873.02

PERMEABILIDAD YESO 0,6 CON YESO

Representación gráfica:

- Incremento de masa por unidad de superficie ($\Delta M/S$), en función del tiempo (t).



$$K_v(20^\circ\text{C}) / P(20^\circ\text{C}) = K_v(25^\circ\text{C}) / P_v(25^\circ\text{C}).$$

- La presión de vapor $P(20^\circ\text{C}) = 17,53$ mmHg y $P(25^\circ\text{C}) = 23,76$ mmHg, entonces:

$$K_v(20^\circ\text{C}) = K_v(25^\circ\text{C}) \times 0,7378 \quad (\text{g} / \text{m}^2 \times 24\text{h})$$

- Debe corregirse dicho coeficiente teniendo en cuenta el espesor real de las muestras, expresado éste en cm y considerándole un parámetro adimensional (sin intervenir en las unidades):

$$K_v^*(20^\circ\text{C}) = K_v(20^\circ\text{C}) \times e \text{ (cm)} \quad (\text{g} / \text{m}^2 \times 24\text{h})$$

- Finalmente calcular el valor medio y la desviación típica.

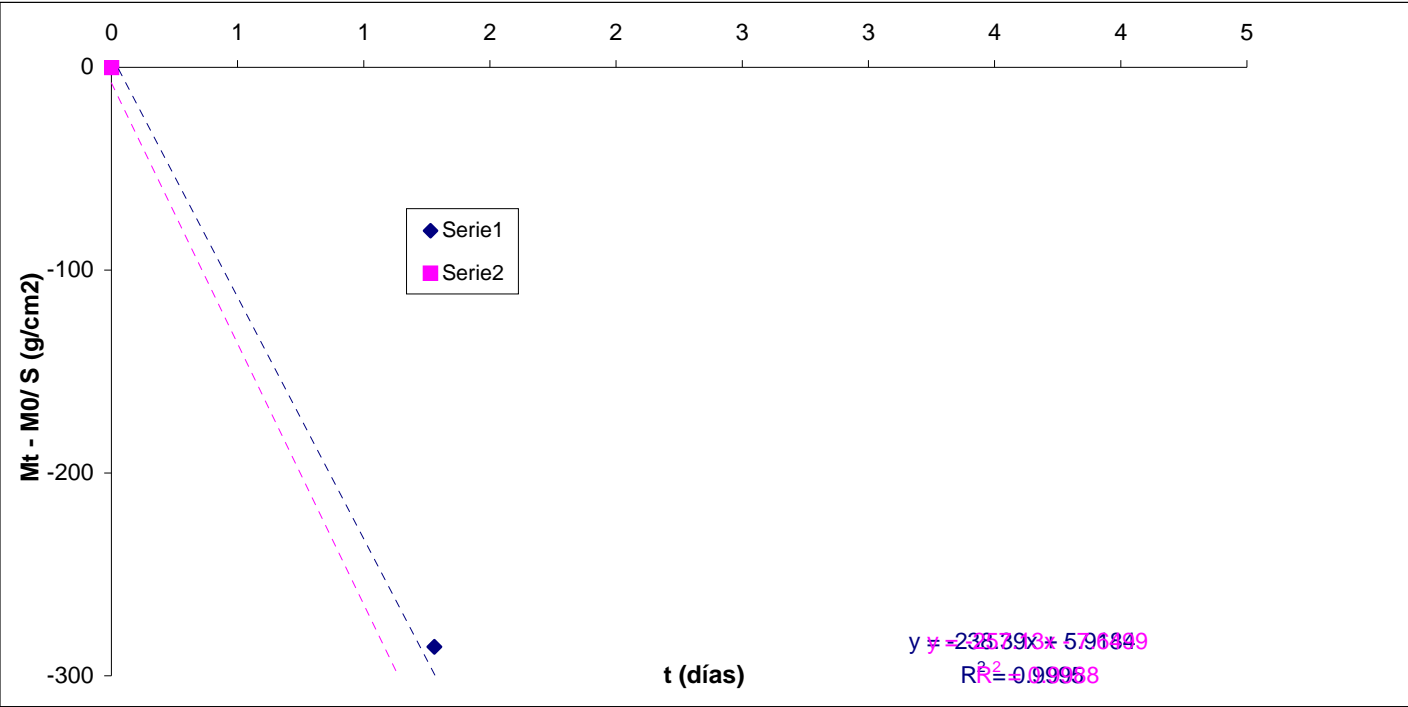
PERMEABILIDAD YESO 0,6 CON YESO

Resultados									
Unidad Factor			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 25°C									
- Kv (25°C)	(g / m ² x 24h)		114.11	105.77				110	0
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 20°C									
- Kv (25°C)	(g / m ² x 24h)	0.7378	84.190	78.037	0.000			54	55
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 20°C y corregido el espesor									
- Kv* (25°C)	(g / m ² x 24h)		100.607	94.035	0.000			97	0

Muestra	Espesor		Media
1	1.22	1.17	1.20
2	1.20	1.21	1.21
3			#¡DIV/0!

Permeabilidad de las placas después del ensayo de capilaridad													
					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M _t (g)				ΔM/S (α / cm ²)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-3		11.30	0.00	0.00	237.15	240.09			0.00	0.00	0.00		0.00
M-4		18.15	30.75	1.28	236.79	239.67			-285.71	-333.33	0.00		-206.35
X-5		18.30	55.00	2.29	236.46	239.31			-547.62	-619.05	0.00		-388.89
J-6									-188214.29	-190547.62	0.00		-126253.97
V-7		14.30	99.00	4.12	235.92	238.76			-976.19	-1055.56	0.00		-677.25
S-8									-188214.29	-190547.62	0.00		-126253.97
D-9									-188214.29	-190547.62	0.00		-126253.97

PERMEABILIDAD YESO 0,6 CON YESO

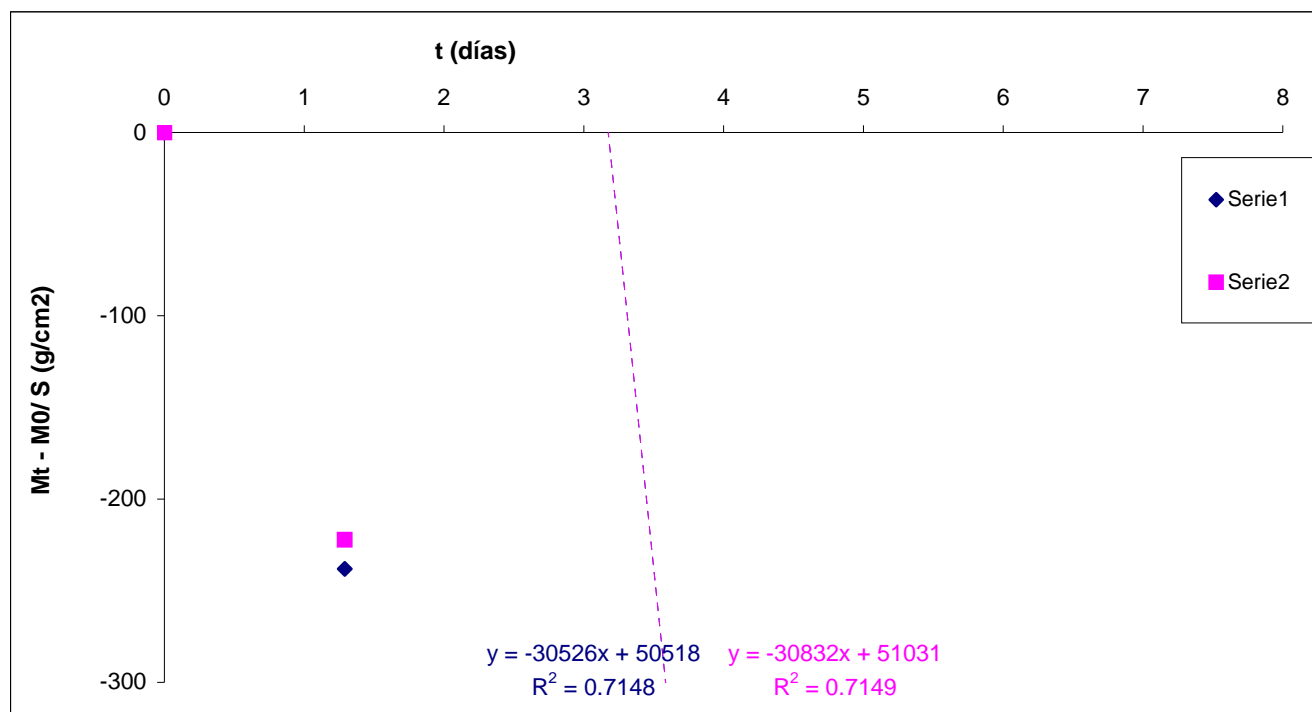


Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
238.39	257.13				248	13
175.884	189.711				183	10
210.182	228.601				219	13

Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
202.61	207.7				205	4
149.486	153.241				151	3
178.635	184.655				182	4

PERMEABILIDAD YESO 0,6 CON YESO

Permeabilidad de las placas tras el ensayo de inmersión													
Tiempo					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M _i (g)				$\Delta M/S$ (g / cm ²)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-3		12.00	0.00	0.00	234.16	236.49			0.00	0.00	0.00		0.00
M-4		19.00	31.00	1.29	233.86	236.21			-238.10	-222.22	0.00		-153.44
X-5		16.30	52.50	2.19	233.62	235.97			-428.57	-412.70	0.00		-280.42
J-6		18.30	78.50	3.27	233.38	235.7			-619.05	-626.98	0.00		-415.34
V-7		14.00	98.00	4.08	233.1	235.41			-841.27	-857.14	0.00		-566.14
S-8									-185841.27	-187690.48	0.00		-124510.58
D-9									-185841.27	-187690.48	0.00		-124510.58



PERMEABILIDAD YESO 0,6 CON CAL

PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA: DIFUSIVIDAD

Circulación de humedad en permeámetro (Norma: CNR-ICR NORMAL 21/85)

Muestra: **YESO GRU** ESO 0.6 CAL

Fecha:

- Superficie del permeámetro constante: $S = 0,00125 \text{ m}^2$ (diámetro 4 cm) (m²)

Cálculos:

- Incremento de masa por unidad de superficie en función del tiempo: $(\Delta M/S) = (M_t - M_0) / S$ (g / m²)

- Coeficiente de permeabilidad al vapor de agua:

. coeficiente simplificado (NORMAL 21/85): $K_v = -(\Delta M/S) / t$ (g / m² x 24h)

. coeficiente completo (ley de Darcy): $K_v = -(\Delta M/S) \times e / (t \times \Delta P)$ (g / m x h x mmHg)

Toma de datos

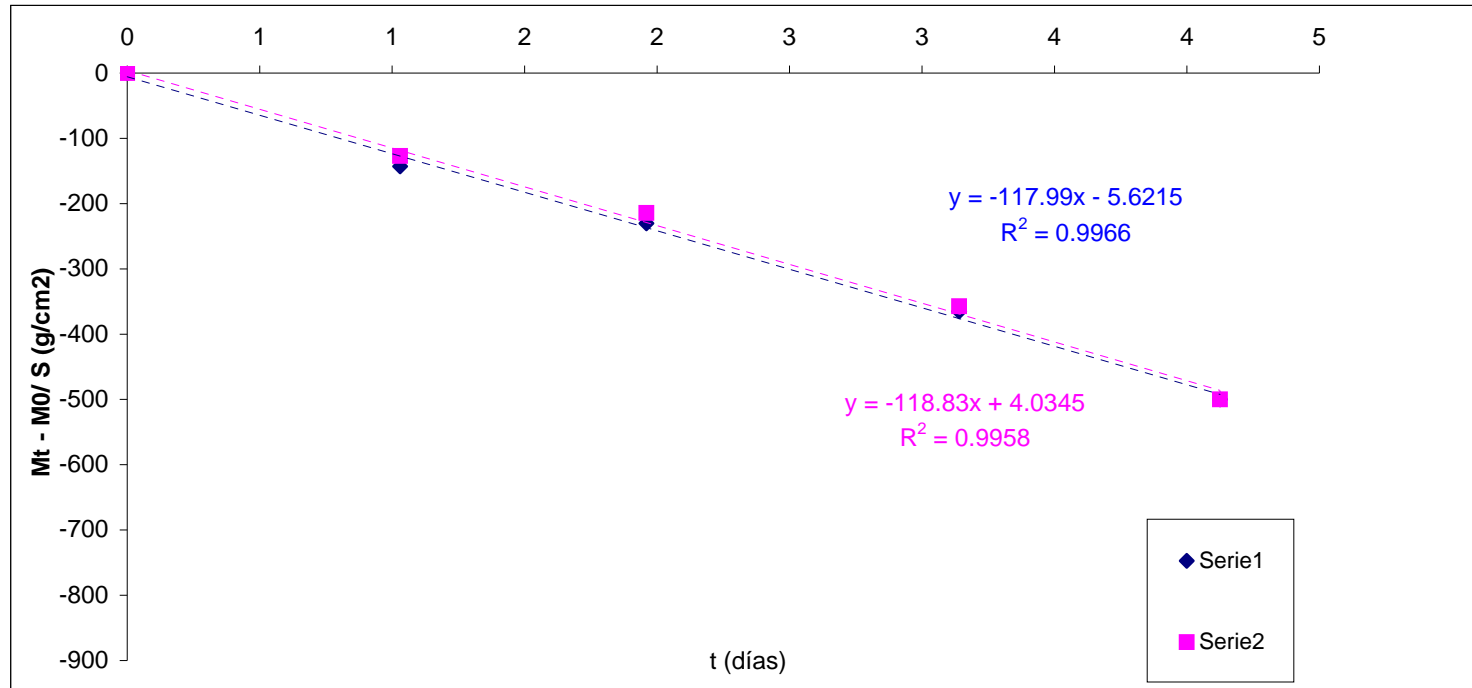
	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Espesor real: e	(cm)	1.23	1.21	#¡DIV/0!	
Superficie del permeámetro: S	(m ²)	0.00	0.00	0.00	

Tiempo					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M _t (g)				ΔM/S (g / cm ²)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-10	12.00	12.00	0.00	0.00	241.49	237.17			0.00	0.00	0.00		0.00
M-11	12.45	12.00	24.75	1.03	241.31	237.01			-142.86	-126.98	0.00		-89.95
X-12	11.00	12.00	47.00	1.96	241.2	236.9			-230.16	-214.29	0.00		-148.15
J-13	3.30	12.00	75.50	3.14	241.03	236.72			-365.08	-357.14	0.00		-240.74
V-14	3.00	12.00	99.00	4.13	240.86	236.54			-500.00	-500.00	0.00		-333.33
L-17									-191658.73	-188230.16	0.00		-126629.63

PERMEABILIDAD YESO 0,6 CON CAL

Representación gráfica:

- Incremento de masa por unidad de superficie ($\Delta M/S$), en función del tiempo (t).



$$K_v(20^\circ C) / P(20^\circ C) = K_v(25^\circ C) / P_v(25^\circ C).$$

- La presión de vapor $P(20^\circ C) = 17,53$ mmHg y $P(25^\circ C) = 23,76$ mmHg, entonces:

$$K_v(20^\circ C) = K_v(25^\circ C) \times 0,7378 \quad (g / m^2 \times 24h)$$

- Debe corregirse dicho coeficiente teniendo en cuenta el espesor real de las muestras, expresado éste en cm y considerándole un parámetro adimensional (sin intervenir en las unidades):

$$K_v^*(20^\circ C) = K_v(20^\circ C) \times e \text{ (cm)} \quad (g / m^2 \times 24h)$$

- Finalmente calcular el valor medio y la desviación típica.

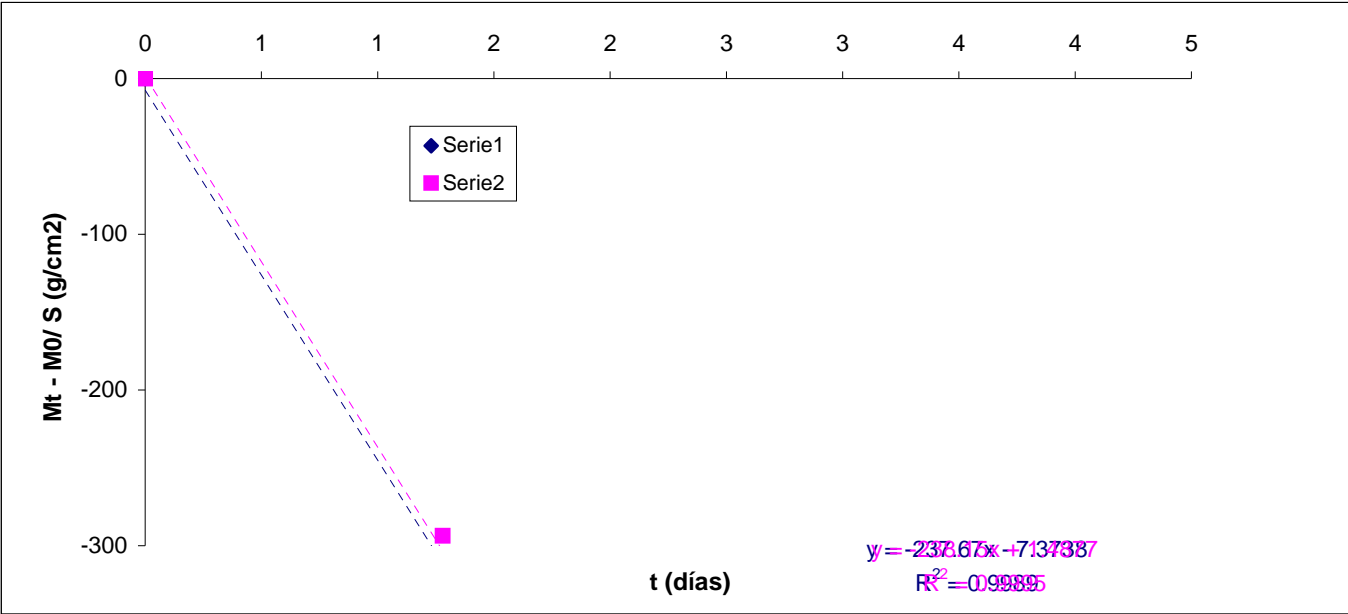
PERMEABILIDAD YESO 0,6 CON CAL

Resultados									
Unidad Factor			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 25°C									
- Kv (25°C)	(g / m ² x 24h)		117.99	118.83				118	0
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 20°C									
- Kv (25°C)	(g / m ² x 24h)	0.7378	87.053	87.673	0.000			58	62
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 20°C y corregido el espesor									
- Kv* (25°C)	(g / m ² x 24h)		106.640	106.084	0.000			106	0

Muestra	Espesor		Media
1	1.22	1.23	1.23
2	1.22	1.20	1.21
3			#¡DIV/0!

Permeabilidad de las placas después del ensayo de capilaridad													
					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M _i (g)				ΔM/S (α / cm ²)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-3		11.30	0.00	0.00	237.29	236.37			0.00	0.00	0.00		0.00
M-4		18.15	30.75	1.28	236.9	236			-309.52	-293.65	0.00		-201.06
X-5		18.30	55.00	2.29	236.57	235.67			-571.43	-555.56	0.00		-375.66
J-6									-188325.40	-187595.24	0.00		-125306.88
V-7		14.30	99.00	4.12	236.06	235.14			-976.19	-976.19	0.00		-650.79
S-8									-188325.40	-187595.24	0.00		-125306.88
D-9									-188325.40	-187595.24	0.00		-125306.88

PERMEABILIDAD YESO 0,6 CON CAL

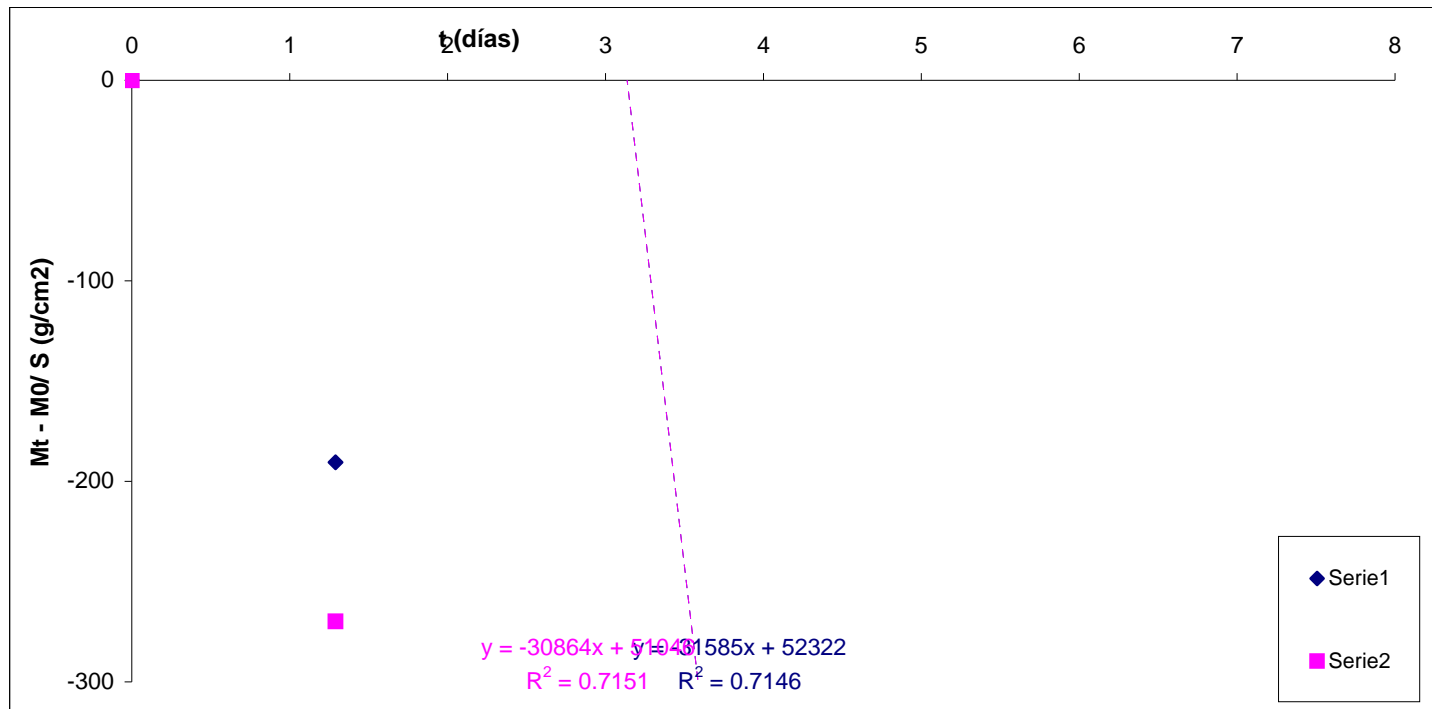


Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
237.67	238.15				238	0
175.353	175.707				176	0
214.807	212.606				214	2

Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
191.11	223.78				207	23
141.001	165.105				153	17
172.726	199.777				186	19

PERMEABILIDAD YESO 0,6 CON CAL

Permeabilidad de las placas tras el ensayo de inmersión													
Tiempo					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M _t (g)				$\Delta M/S$ (g / cm ²)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-3		12.00	0.00	0.00	242.25	236.76			0.00	0.00	0.00		0.00
M-4		19.00	31.00	1.29	242.01	236.42			-190.48	-269.84	0.00		-153.44
X-5		16.30	52.50	2.19	241.8	236.18			-357.14	-460.32	0.00		-272.49
J-6		18.30	78.50	3.27	241.53	235.89			-571.43	-690.48	0.00		-420.63
V-7		14.00	98.00	4.08	241.26	235.59			-785.71	-928.57	0.00		-571.43
S-8									-192261.90	-187904.76	0.00		-126722.22
D-9									-192261.90	-187904.76	0.00		-126722.22



PERMEABILIDAD YESO 0,8 SIN TRATAMIENTO

PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA: DIFUSIVIDAD

Circulación de humedad en permeámetro (Norma: CNR-ICR NORMAL 21/85)

Muestra: **YESO GRU** ESO 0.8 BLANCO

Fecha:

- Superficie del permeámetro constante: $S = 0,00125 \text{ m}^2$ (diámetro 4 cm) (m^2)

Cálculos:

- Incremento de masa por unidad de superficie en función del tiempo: $(\Delta M/S) = (M_t - M_0) / S$ (g / m^2)

- Coeficiente de permeabilidad al vapor de agua:

- . coeficiente simplificado (NORMAL 21/85): $K_v = -(\Delta M/S) / t$ ($\text{g} / \text{m}^2 \times 24\text{h}$)
- . coeficiente completo (ley de Darcy): $K_v = -(\Delta M/S) \times e / (t \times \Delta P)$ ($\text{g} / \text{m} \times \text{h} \times \text{mmHg}$)

Toma de datos

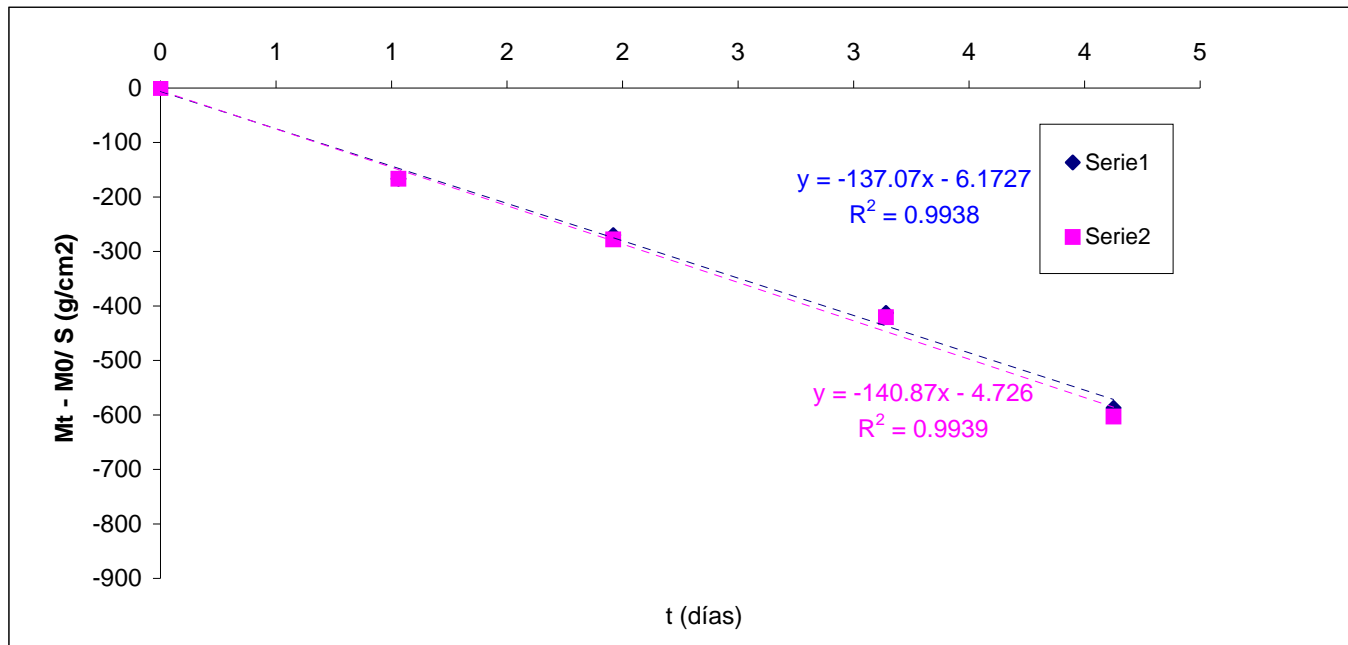
	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Espesor real: e	(cm)	1.10	1.20		
Superficie del permeámetro: S	(m^2)	0.00	0.00	0.00	

Tiempo					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M_t (g)				$\Delta M/S$ (g / cm^2)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-10	12.00	12.00	0.00	0.00	232.58	235.79			0.00	0.00	0.00		0.00
M-11	12.45	12.00	24.75	1.03	232.37	235.58			-166.67	-166.67	0.00		-111.11
X-12	11.00	12.00	47.00	1.96	232.24	235.44			-269.84	-277.78	0.00		-182.54
J-13	3.30	12.00	75.50	3.14	232.06	235.26			-412.70	-420.63	0.00		-277.78
V-14	3.00	12.00	99.00	4.13	231.84	235.03			-587.30	-603.17	0.00		-396.83
L-17									-184587.30	-187134.92	0.00		-123907.41

PERMEABILIDAD YESO 0,8 SIN TRATAMIENTO

Representación gráfica:

- Incremento de masa por unidad de superficie ($\Delta M/S$), en función del tiempo (t).



$$K_v(20^\circ\text{C}) / P(20^\circ\text{C}) = K_v(25^\circ\text{C}) / P_v(25^\circ\text{C}).$$

- La presión de vapor $P(20^\circ\text{C}) = 17,53 \text{ mmHg}$ y $P(25^\circ\text{C}) = 23,76 \text{ mmHg}$, entonces:

$$K_v(20^\circ\text{C}) = K_v(25^\circ\text{C}) \times 0,7378 \quad (\text{g} / \text{m}^2 \times 24\text{h})$$

- Debe corregirse dicho coeficiente teniendo en cuenta el espesor real de las muestras, expresado éste en cm y considerándole un parámetro adimensional (sin intervenir en las unidades):

$$K_v^*(20^\circ\text{C}) = K_v(20^\circ\text{C}) \times e \text{ (cm)} \quad (\text{g} / \text{m}^2 \times 24\text{h})$$

- Finalmente calcular el valor medio y la desviación típica.

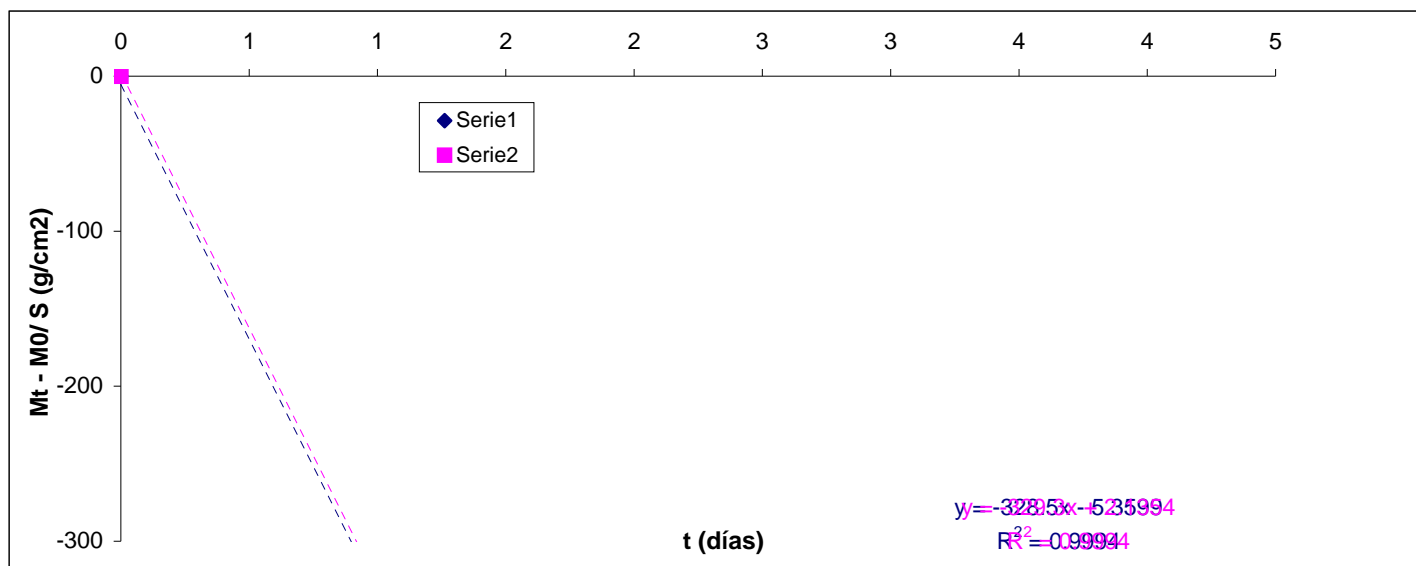
PERMEABILIDAD YESO 0,8 SIN TRATAMIENTO

Resultados									
Unidad Factor			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 25°C									
- Kv (25°C)	(g / m ² x 24h)		137.07	140.87				139	0
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 20°C									
- Kv (25°C)	(g / m ² x 24h)	0.7378	101.130	103.934	0.000			68	73
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 20°C y corregido el espesor									
- Kv* (25°C)	(g / m ² x 24h)		111.243	124.721	0.000			118	0

Muestra	Espesor		Media
1	1.10	1.10	1.10
2	1.20	1.20	1.20
3			#¡DIV/0!

Permeabilidad de las placas después del ensayo de capilaridad													
					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M _i (g)				ΔM/S (α / cm ²)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-3		11.30	0.00	0.00	231.55	237.82			0.00	0.00	0.00		0.00
M-4		18.15	30.75	1.28	231.02	237.31			-420.63	-404.76	0.00		-275.13
X-5		18.30	55.00	2.29	230.57	236.85			-777.78	-769.84	0.00		-515.87
J-6									-183769.84	-188746.03	0.00		-124171.96
V-7		14.30	99.00	4.12	229.85	236.12			-1349.21	-1349.21	0.00		-899.47
S-8									-183769.84	-188746.03	0.00		-124171.96
D-9									-183769.84	-188746.03	0.00		-124171.96

PERMEABILIDAD YESO 0,8 SIN TRATAMIENTO

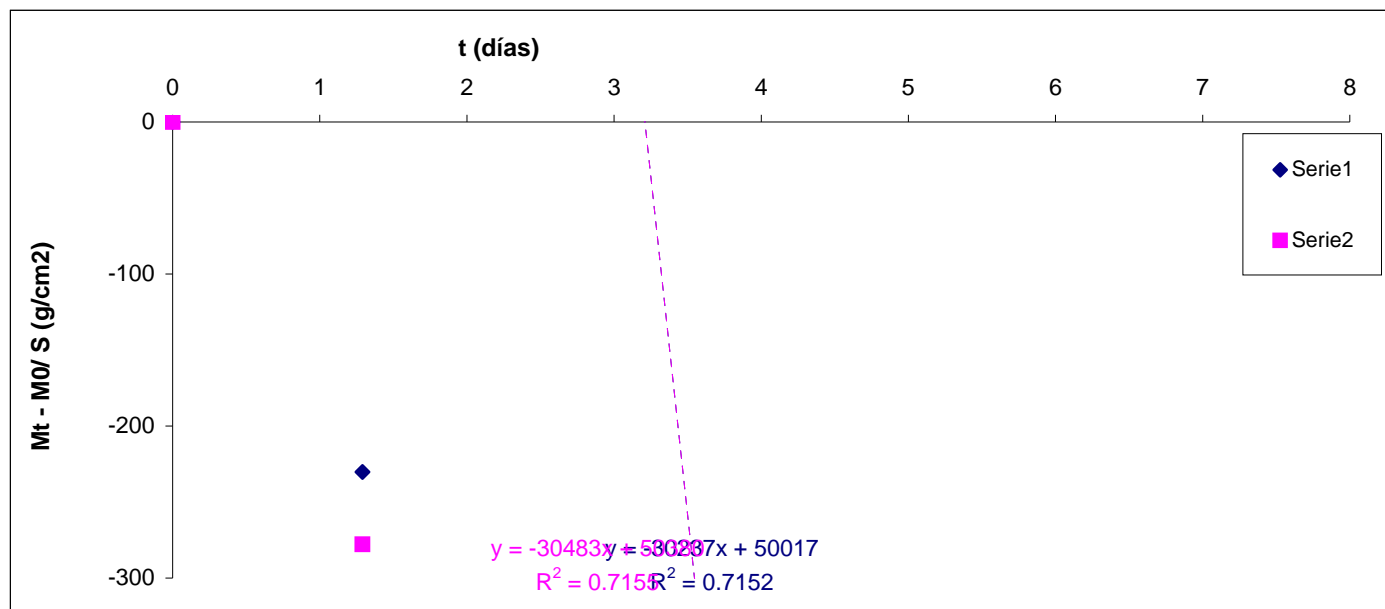


Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
328.5	329.3				329	1
242.367	242.958				243	0
266.604	291.549				279	18

Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
229.38	252.42				241	16
169.237	186.235				178	12
186.160	223.483				205	26

PERMEABILIDAD YESO 0,8 SIN TRATAMIENTO

Permeabilidad de las placas tras el ensayo de inmersión													
Tiempo					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M_t (g)				$\Delta M/S$ (g / cm ²)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-3		12.00	0.00	0.00	231.93	233.84			0.00	0.00	0.00		0.00
M-4		19.00	31.00	1.29	231.64	233.49			-230.16	-277.78	0.00		-169.31
X-5		16.30	52.50	2.19	231.39	233.23			-428.57	-484.13	0.00		-304.23
J-6		18.30	78.50	3.27	231.05	232.85			-698.41	-785.71	0.00		-494.71
V-7		14.00	98.00	4.08	230.75	232.54			-936.51	-1031.75	0.00		-656.08
S-8									-184071.43	-185587.30	0.00		-123219.58
D-9									-184071.43	-185587.30	0.00		-123219.58



PERMEABILIDAD YESO 0,8 CON YESO

PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA: DIFUSIVIDAD

Circulación de humedad en permeámetro (Norma: CNR-ICR NORMAL 21/85)

Muestra:

YESO GRUESO 0.8 YESO

Fecha:

- Superficie del permeámetro constante: $S = 0,00125 \text{ m}^2$ (diámetro 4 cm)

(m^2)

Cálculos:

- Incremento de masa por unidad de superficie en función del tiempo: $(\Delta M/S) = (M_t - M_o) / S$

(g / m^2)

- Coeficiente de permeabilidad al vapor de agua:

. coeficiente simplificado (NORMAL 21/85): $K_v = -(\Delta M/S) / t$

($\text{g} / \text{m}^2 \times 24\text{h}$)

. coeficiente completo (ley de Darcy): $K_v = -(\Delta M/S) \times e / (t \times \Delta P)$

($\text{g} / \text{m} \times \text{h} \times \text{mmHg}$)

Toma de datos

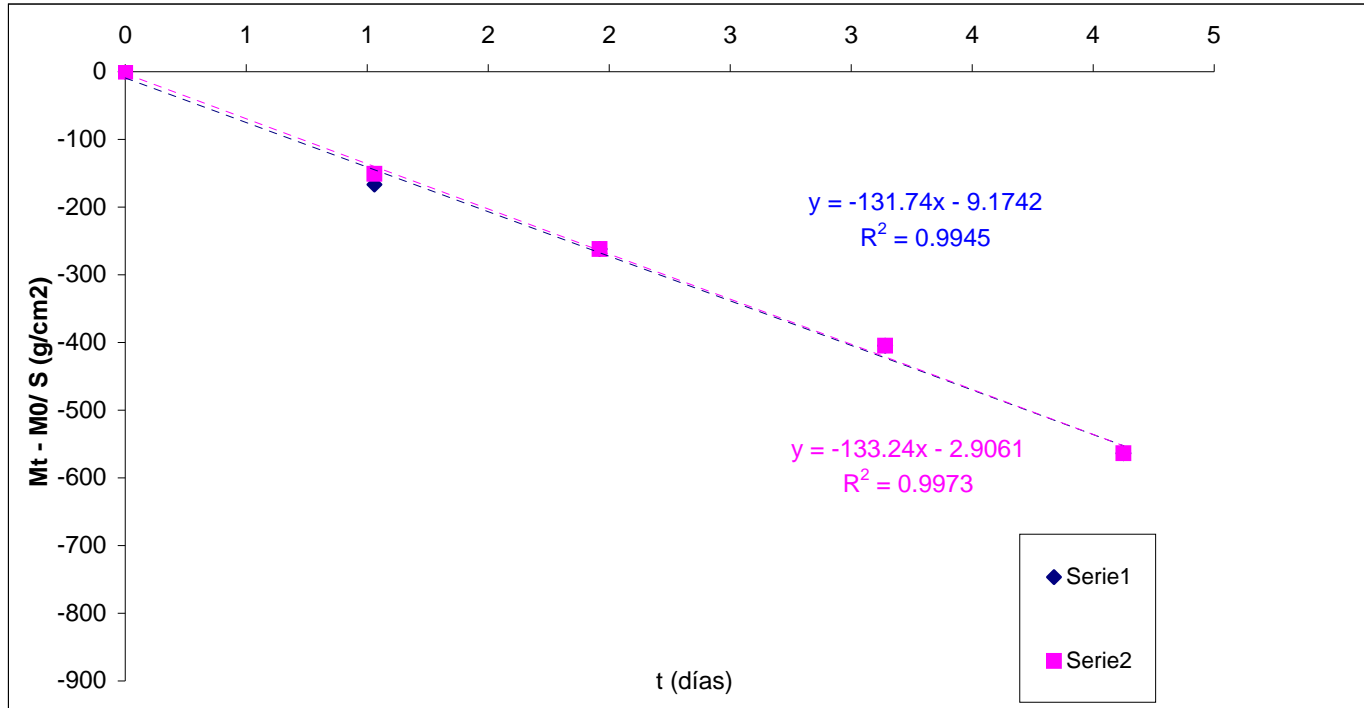
	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Espesor real: e	(cm)	1.21	1.22		
Superficie del permeámetro: S	(m^2)	0.00	0.00	0.00	

Tiempo					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M_t (g)				$\Delta M/S$ (g / cm^2)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-10	12.00	12.00	0.00	0.00	237.41	235.56			0.00	0.00	0.00		0.00
M-11	12.45	12.00	24.75	1.03	237.2	235.37			-166.67	-150.79	0.00		-105.82
X-12	11.00	12.00	47.00	1.96	237.08	235.23			-261.90	-261.90	0.00		-174.60
J-13	3.30	12.00	75.50	3.14	236.9	235.05			-404.76	-404.76	0.00		-269.84
V-14	3.00	12.00	99.00	4.13	236.7	234.85			-563.49	-563.49	0.00		-375.66
L-17									-188420.63	-186952.38	0.00		-125124.34

PERMEABILIDAD YESO 0,8 CON YESO

Representación gráfica:

- Incremento de masa por unidad de superficie ($\Delta M/S$), en función del tiempo (t).



$$K_v(20^\circ\text{C}) / P(20^\circ\text{C}) = K_v(25^\circ\text{C}) / P_v(25^\circ\text{C}).$$

- La presión de vapor $P(20^\circ\text{C}) = 17,53$ mmHg y $P(25^\circ\text{C}) = 23,76$ mmHg, entonces:

$$K_v(20^\circ\text{C}) = K_v(25^\circ\text{C}) \times 0,7378 \quad (\text{g} / \text{m}^2 \times 24\text{h})$$

- Debe corregirse dicho coeficiente teniendo en cuenta el espesor real de las muestras, expresado éste en cm y considerándole un parámetro adimensional (sin intervenir en las unidades):

$$K_v^*(20^\circ\text{C}) = K_v(20^\circ\text{C}) \times e \text{ (cm)} \quad (\text{g} / \text{m}^2 \times 24\text{h})$$

- Finalmente calcular el valor medio y la desviación típica.

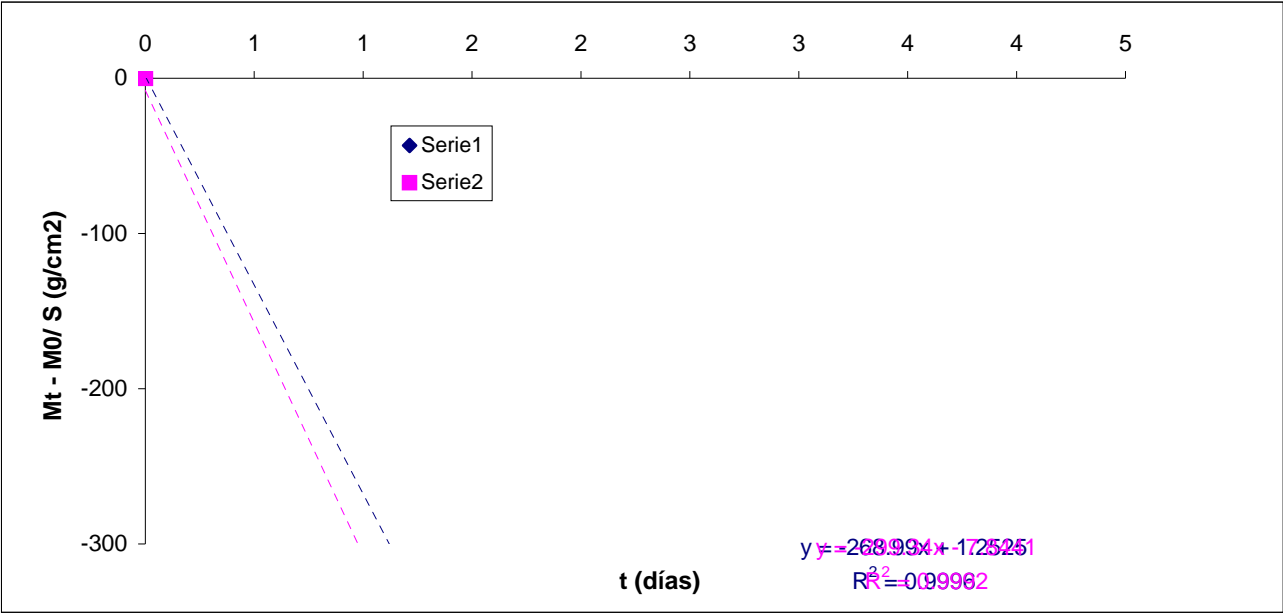
PERMEABILIDAD YESO 0,8 CON YESO

Resultados									
Unidad Factor			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 25°C									
- Kv (25°C)	(g / m ² x 24h)		131.74	133.24				132	0
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 20°C									
- Kv (25°C)	(g / m ² x 24h)	0.7378	97.198	98.304	0.000			65	70
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 20°C y corregido el espesor									
- Kv* (25°C)	(g / m ² x 24h)		117.609	119.440	0.000			119	0

Permeabilidad de las placas después del ensayo de capilaridad													
					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M _i (g)				ΔM/S (α / cm ²)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-3		11.30	0.00	0.00	231.7	227.78			0.00	0.00	0.00		0.00
M-4		18.15	30.75	1.28	231.28	227.29			-333.33	-388.89	0.00		-240.74
X-5		18.30	55.00	2.29	230.91	226.88			-626.98	-714.29	0.00		-447.09
J-6									-183888.89	-180777.78	0.00		-121555.56
V-7		14.30	99.00	4.12	230.31	226.23			-1103.17	-1230.16	0.00		-777.78
S-8									-183888.89	-180777.78	0.00		-121555.56
D-9									-183888.89	-180777.78	0.00		-121555.56

Muestra	Espesor		Media
1	1.21	1.21	1.21
2	1.21	1.22	1.22
3			#DIV/0!

PERMEABILIDAD YESO 0,8 CON YESO

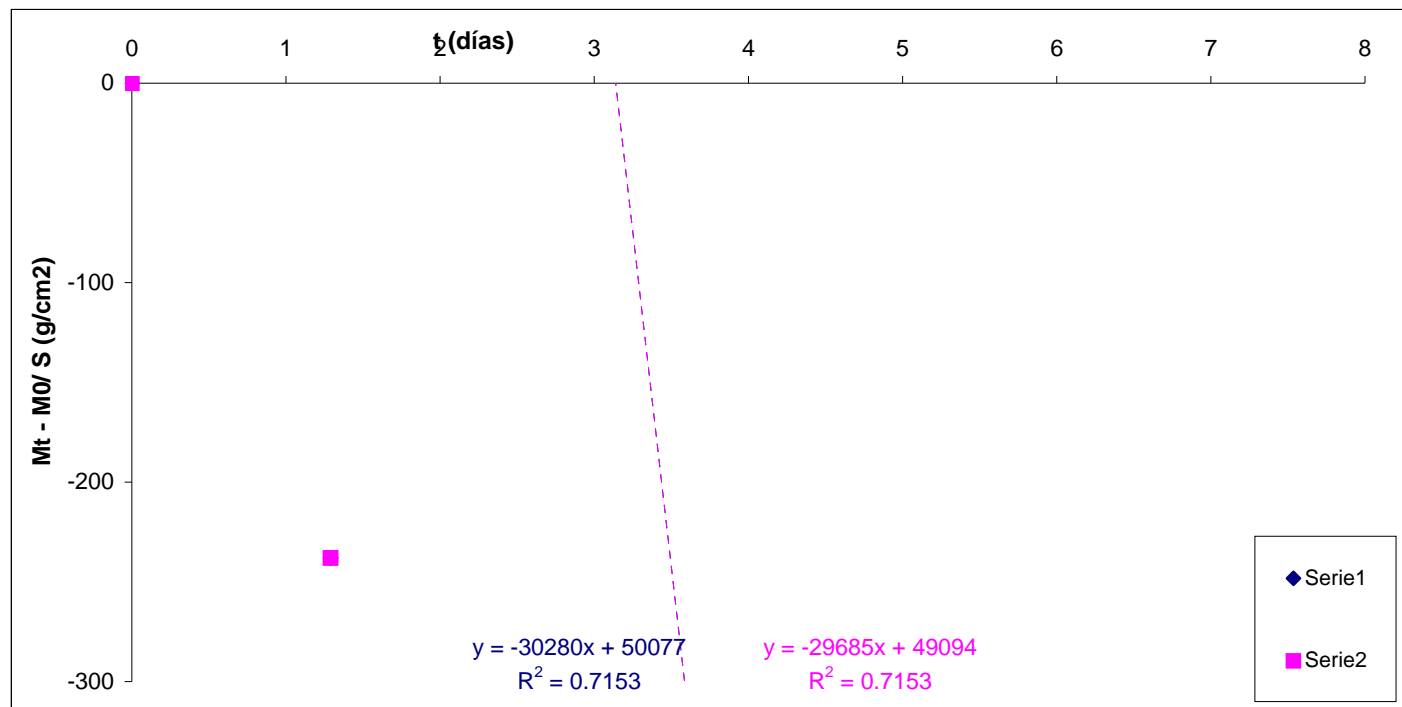


Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
268.99	299.34				284	21
198.461	220.853				210	16
240.138	268.336				254	20

Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
234.85	230.18				233	3
173.272	169.827				172	2
209.660	206.340				208	2

PERMEABILIDAD YESO 0,8 CON YESO

Permeabilidad de las placas tras el ensayo de inmersión													
Tiempo					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M _i (g)				$\Delta M/S$ (g / cm ²)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-3		12.00	0.00	0.00	232.26	227.7			0.00	0.00	0.00		0.00
M-4		19.00	31.00	1.29	231.96	227.4			-238.10	-238.10	0.00		-158.73
X-5		16.30	52.50	2.19	231.7	227.16			-444.44	-428.57	0.00		-291.01
J-6		18.30	78.50	3.27	231.36	226.82			-714.29	-698.41	0.00		-470.90
V-7		14.00	98.00	4.08	231.05	226.51			-960.32	-944.44	0.00		-634.92
S-8									-184333.33	-180714.29	0.00		-121682.54
D-9									-184333.33	-180714.29	0.00		-121682.54



PERMEABILIDAD YESO 0,8 CON CAL

PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA: DIFUSIVIDAD

Circulación de humedad en permeámetro (Norma: CNR-ICR NORMAL 21/85)

Muestra:

YESO GRUESO 0.8 CAL

Fecha:

- Superficie del permeámetro constante: $S = 0,00125 \text{ m}^2$ (diámetro 4 cm)

(m^2)

Cálculos:

- Incremento de masa por unidad de superficie en función del tiempo: $(\Delta M/S) = (M_t - M_o) / S$

(g / m^2)

- Coeficiente de permeabilidad al vapor de agua:

. coeficiente simplificado (NORMAL 21/85): $K_v = -(\Delta M/S) / t$

($\text{g} / \text{m}^2 \times 24\text{h}$)

. coeficiente completo (ley de Darcy): $K_v = -(\Delta M/S) \times e / (t \times \Delta P)$

($\text{g} / \text{m} \times \text{h} \times \text{mmHg}$)

Toma de datos

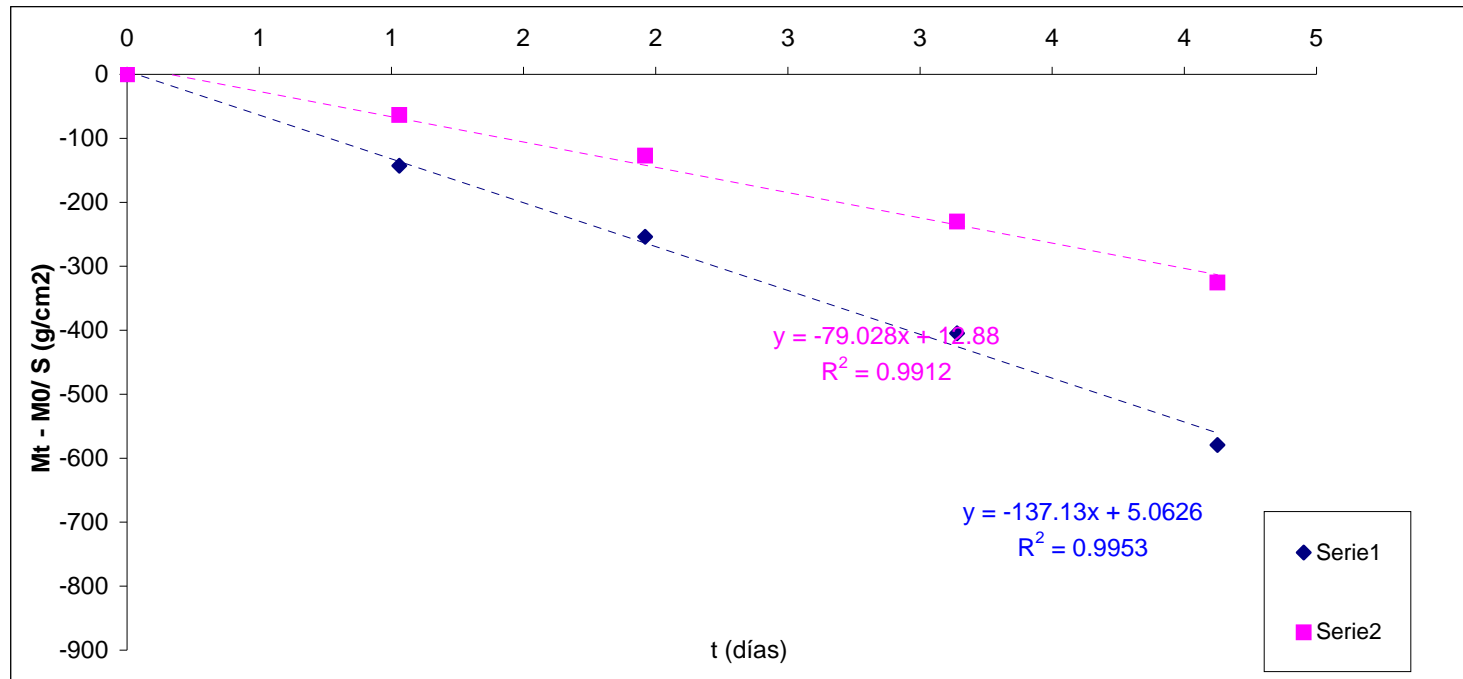
	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
Espesor real: e	(cm)	1.22	1.21		
Superficie del permeámetro: S	(m^2)	0.00	0.00	0.00	

Tiempo					M_t (g)				$\Delta M/S$ (g / cm^2)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-10	12.00	12.00	0.00	0.00	239.44	233.75			0.00	0.00	0.00		0.00
M-11	12.45	12.00	24.75	1.03	239.26	233.67			-142.86	-63.49	0.00		-68.78
X-12	11.00	12.00	47.00	1.96	239.12	233.59			-253.97	-126.98	0.00		-126.98
J-13	3.30	12.00	75.50	3.14	238.93	233.46			-404.76	-230.16	0.00		-211.64
V-14	3.00	12.00	99.00	4.13	238.71	233.34			-579.37	-325.40	0.00		-301.59
L-17									-190031.75	-185515.87	0.00		-125182.54

PERMEABILIDAD YESO 0,8 CON CAL

Representación gráfica:

- Incremento de masa por unidad de superficie ($\Delta M/S$), en función del tiempo (t).



$$K_v(20^\circ\text{C}) / P(20^\circ\text{C}) = K_v(25^\circ\text{C}) / P_v(25^\circ\text{C}).$$

- La presión de vapor $P(20^\circ\text{C}) = 17,53 \text{ mmHg}$ y $P(25^\circ\text{C}) = 23,76 \text{ mmHg}$, entonces:

$$K_v(20^\circ\text{C}) = K_v(25^\circ\text{C}) \times 0,7378 \quad (\text{g} / \text{m}^2 \times 24\text{h})$$

- Debe corregirse dicho coeficiente teniendo en cuenta el espesor real de las muestras, expresado éste en cm y considerándole un parámetro adimensional (sin intervenir en las unidades):

$$K_v^*(20^\circ\text{C}) = K_v(20^\circ\text{C}) \times e \text{ (cm)} \quad (\text{g} / \text{m}^2 \times 24\text{h})$$

- Finalmente calcular el valor medio y la desviación típica.

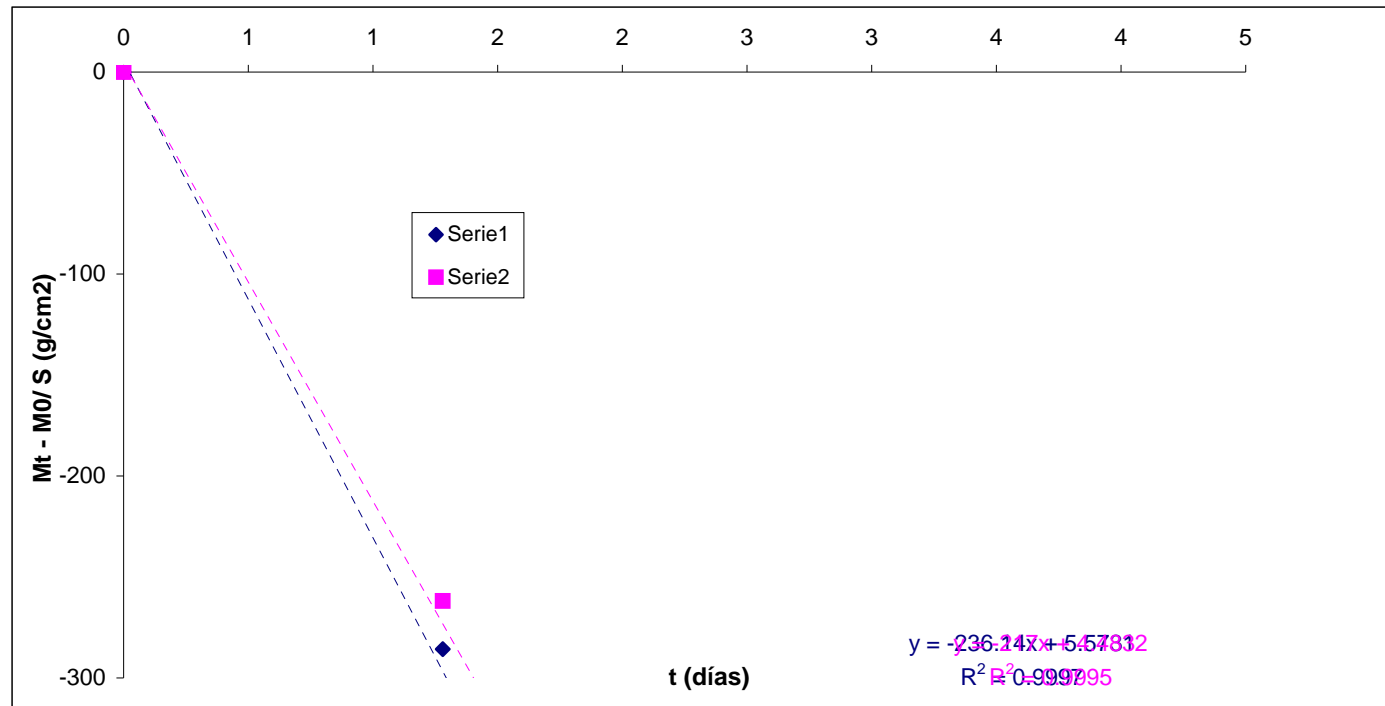
PERMEABILIDAD YESO 0,8 CON CAL

Resultados									
Unidad Factor			Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 25°C									
- Kv (25°C)	(g / m ² x 24h)		137	79.028				108	0
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 20°C									
- Kv (25°C)	(g / m ² x 24h)	0.7378	101.079	58.307	0.000			53	41
Coeficiente de permeabilidad simplificado a 20°C y corregido el espesor									
- Kv* (25°C)	(g / m ² x 24h)		122.810	70.260	0.000			97	0

Permeabilidad de las placas después del ensayo de capilaridad													
					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M _i (g)				ΔM/S (α / cm ²)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-3		11.30	0.00	0.00	232.82	229.57			0.00	0.00	0.00		0.00
M-4		18.15	30.75	1.28	232.46	229.24			-285.71	-261.90	0.00		-182.54
X-5		18.30	55.00	2.29	232.14	228.94			-539.68	-500.00	0.00		-346.56
J-6									-184777.78	-182198.41	0.00		-122325.40
V-7		14.30	99.00	4.12	231.6	228.45			-968.25	-888.89	0.00		-619.05
S-8									-184777.78	-182198.41	0.00		-122325.40
D-9									-184777.78	-182198.41	0.00		-122325.40

Muestra	Espesor		Media
1	1.21	1.22	1.22
2	1.22	1.19	1.21
3			#DIV/0!

PERMEABILIDAD YESO 0,8 CON CAL

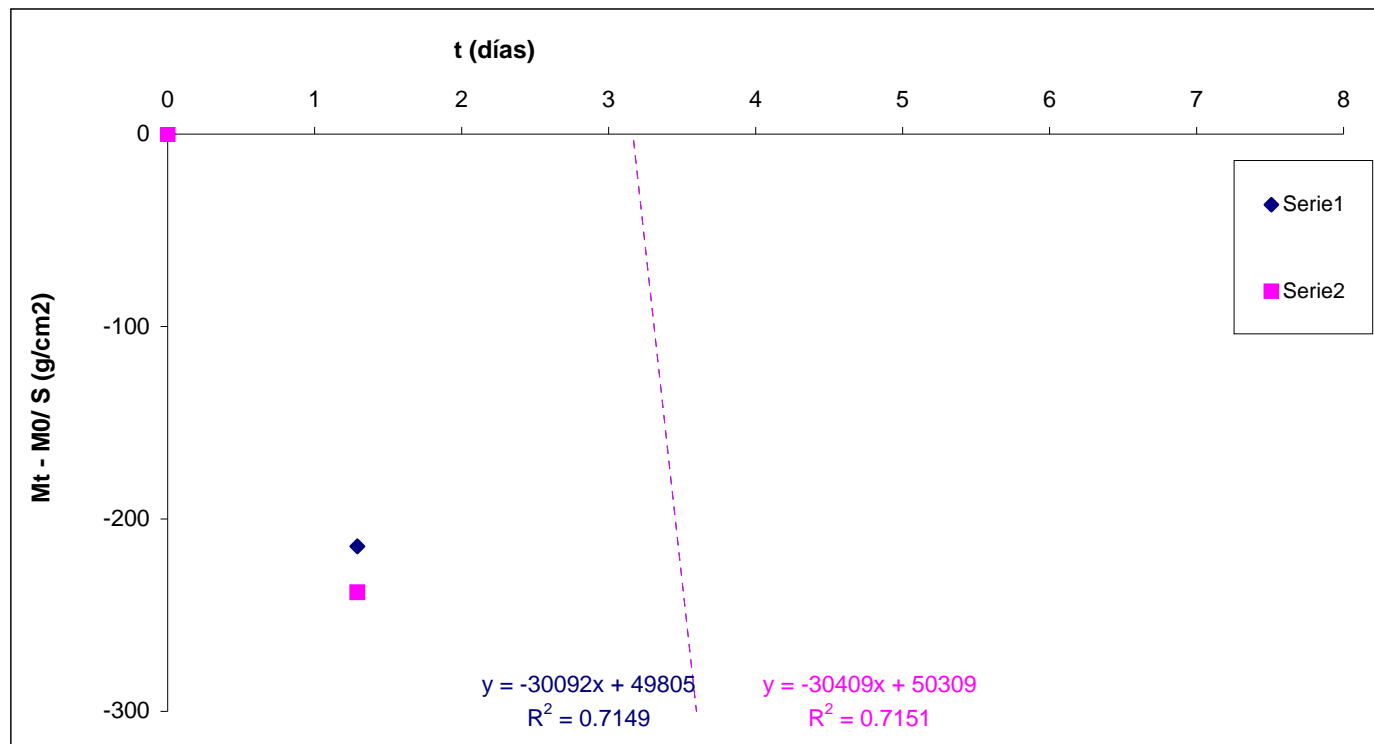


Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
236.14	217				227	14
174.224	160.103				167	10
211.682	192.924				202	13

Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4		Valor medio	Desviac. típica
207.7	220.27				214	9
153.241	162.515				158	7
186.188	195.831				191	7

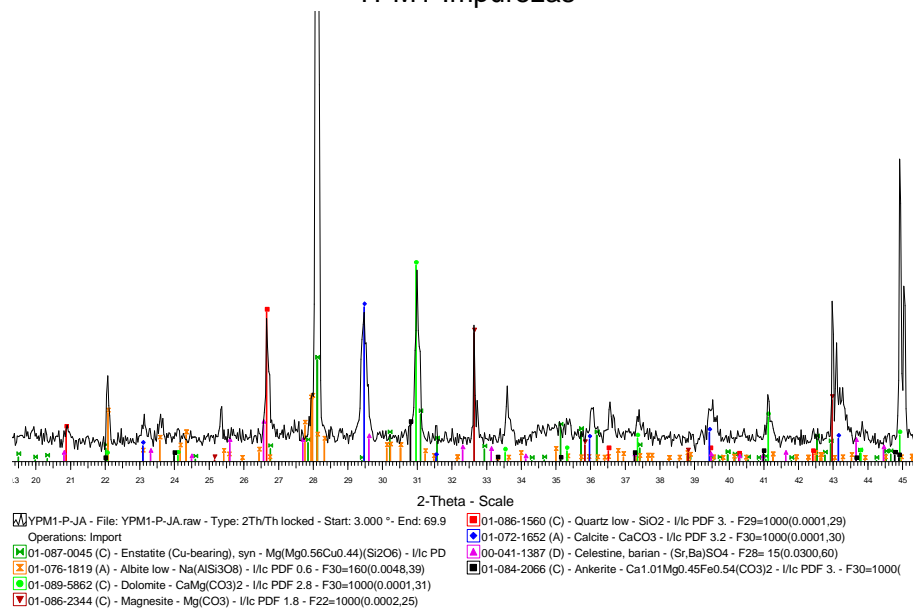
PERMEABILIDAD YESO 0,8 CON CAL

Permeabilidad de las placas tras el ensayo de inmersión													
Tiempo					Masa de la célula				Incremento masa / superficie				
					M _i (g)				$\Delta M/S$ (g / cm ²)				
Día	Hora	Hora (decimal)	t (rel) (horas)	t (días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Media
L-3		12.00	0.00	0.00	230.81	233.25			0.00	0.00	0.00		0.00
M-4		19.00	31.00	1.29	230.54	232.95			-214.29	-238.10	0.00		-150.79
X-5		16.30	52.50	2.19	230.32	232.72			-388.89	-420.63	0.00		-269.84
J-6		18.30	78.50	3.27	230.01	232.4			-634.92	-674.60	0.00		-436.51
V-7		14.00	98.00	4.08	229.74	232.11			-849.21	-904.76	0.00		-584.66
S-8									-183182.54	-185119.05	0.00		-122767.20
D-9									-183182.54	-185119.05	0.00		-122767.20

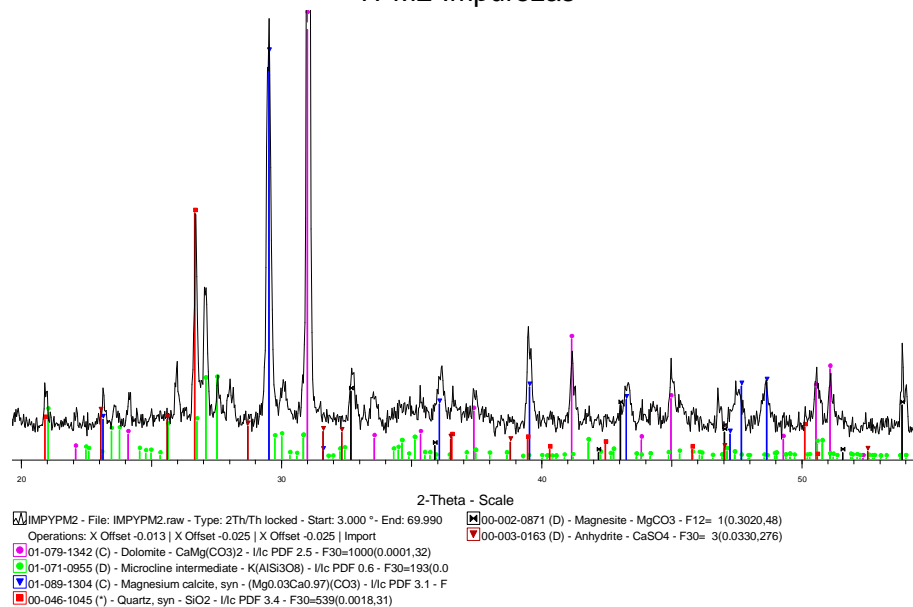


**DIFRACTOGRAMAS DE YESERÍAS
RESIDUO INSOLUBLE**

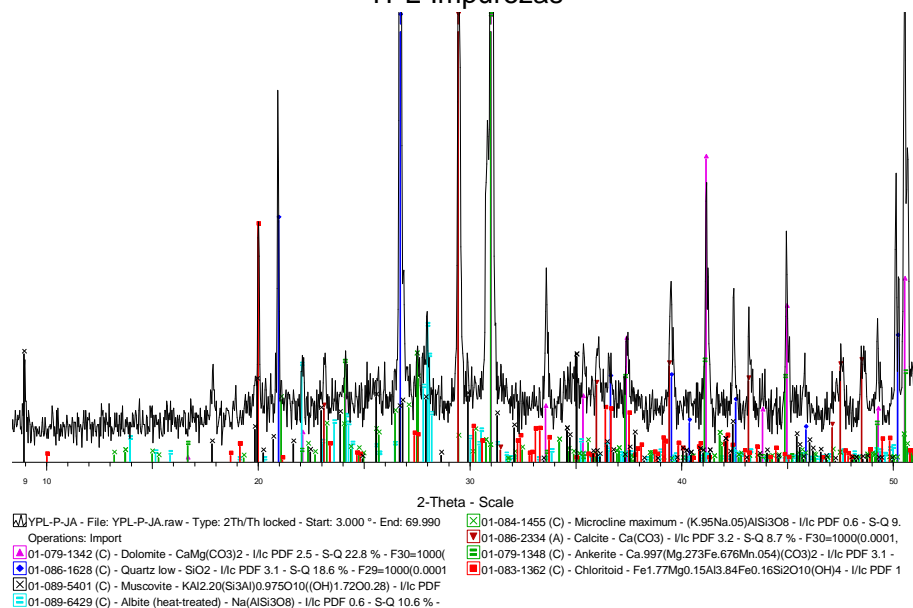
YPM1-Impurezas



YPM2-Impurezas



YPL-Impurezas



YPY-P-JA - File: YPY-P-JA.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 69.990
 Operations: Import

01-086-1629 (A) - Quartz low - SiO₂ - I/Ic PDF 3.1 - S-Q 34.8 % - F29=1000(0.0001)
 01-083-1729 (C) - Lepidolite 3T - (K₂(Al₂32Mn0.11Li3.46)(Si7AlO20)F3(OH))1.5 - I
 01-089-6424 (C) - Albite (heat-treated) - Na(AlSi3O8) - I/Ic PDF 0.6 - S-Q 15.0 % - I
 01-072-1652 (A) - Calcite - CaCO₃ - I/Ic PDF 3.2 - S-Q 12.7 % - F30=1000(0.0001,3

01-074-1687 (C) - Dolomite - CaMg(CO₃)₂ - I/Ic PDF 2.8 - S-Q 12.7 % - F30=160(0.
 01-074-1064 (C) - Picromerite, syn - MgK₂(SO₄)₂(H₂O)₆ - I/Ic PDF 0.8 - S-Q 9.2 %

YPD-IMP - File: YPD-IMP.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 69.990 °
 Operations: Background 0.457,1.000 | Import

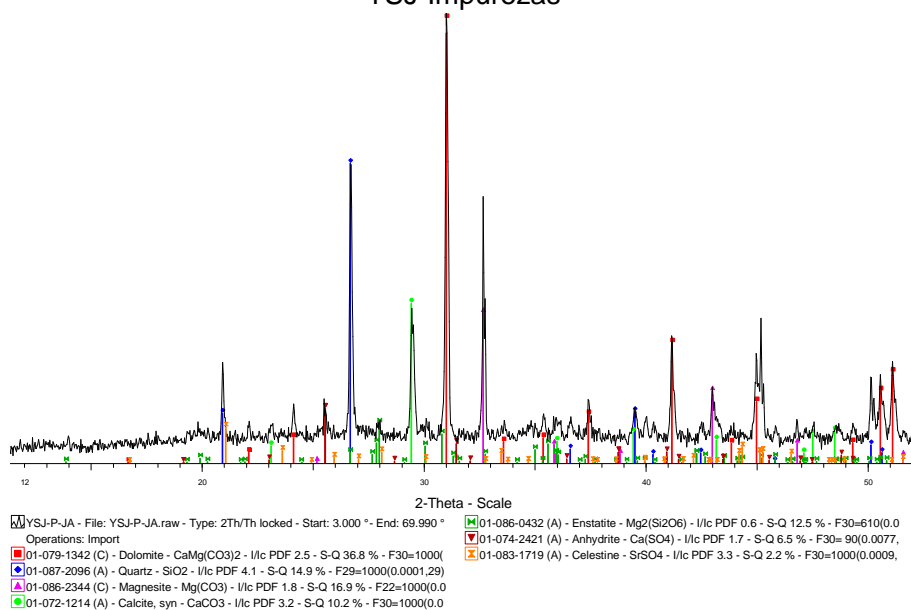
Legend:

- 01-083-0578 (A) - Calcite - $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ - I/I_c PDF 3.2 - S-Q 31.7 % - $F_{30}=1000(0.0001)$
- 01-089-5862 (C) - Dolomite - $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ - I/I_c PDF 2.8 - S-Q 25.9 % - $F_{30}=1000(0.0001)$
- 01-086-0175 (A) - Magnesite, syn - $\text{Mg}(\text{CO}_3)$ - I/I_c PDF 1.8 - S-Q 15.6 % - $F_{22}=601(0.0001)$
- 01-085-2163 (C) - Chamosite 1M1lb - $(\text{Mg}_5.036\text{Fe}_{4.964})\text{Al}_2\text{Zn}_2(\text{Si}_5.70\text{Al}_2.30\text{O}_{20})$
- 01-086-1560 (C) - Quartz low - SiO_2 - I/I_c PDF 3. - S-Q 6.1 % - $F_{29}=1000(0.0001,2)$
- 00-005-0593 (*) - Celestine, syn - SrSO_4 - I/I_c PDF 1.8 - S-Q 5.6 % - $F_{30}=40(0.015)$
- 01-086-2346 (A) - Magnesite - $\text{Mg}(\text{CO}_3)$ - I/I_c PDF 1.8 - S-Q 3.9 % - $F_{26}=406(0.002)$
- 01-083-1764 (C) - Siderite - $\text{Fe}(\text{CO}_3)$ - I/I_c PDF 3.6 - S-Q 1.7 % - $F_{26}=1000(0.0001,1)$
- 01-075-1589 (C) - Cinnabar - HgS - I/I_c PDF 13.9 - S-Q 1.3 % - $F_{30}=598(0.0015,34)$

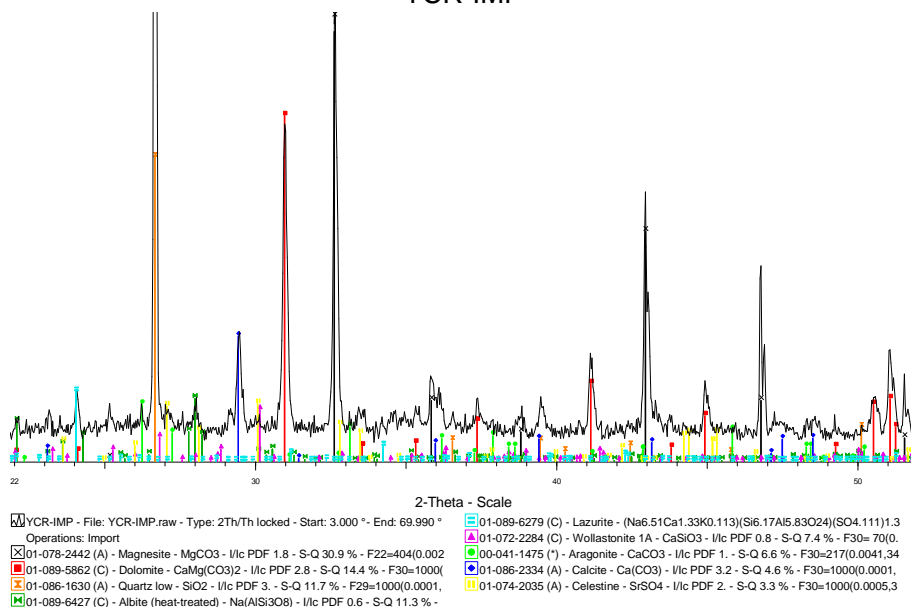
YPS-P-JA - File: YPS-P-JA.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.000 ° - End: 69.990
 Operations: Import

01-089-1304 (C) - Magnesite calcite, syn - (Mg_{0.03}Ca_{0.97})(CO₃) - S-Q 39.3 % - F
 01-071-1662 (A) - Dolomite - CaMg(CO₃)₂ - S-Q 26.9 % - F₃₀=1000(0.0001,32)
 01-086-0175 (A) - Magnesite, syn - Mg(CO₃) - S-Q 14.0 % - F₂₂=601(0.0014,27)
 01-083-0645 (C) - Forsterite ferroan - (Mg_{0.879}Fe_{0.121})(Mg_{0.881}Fe_{0.119})(SiO₄) -

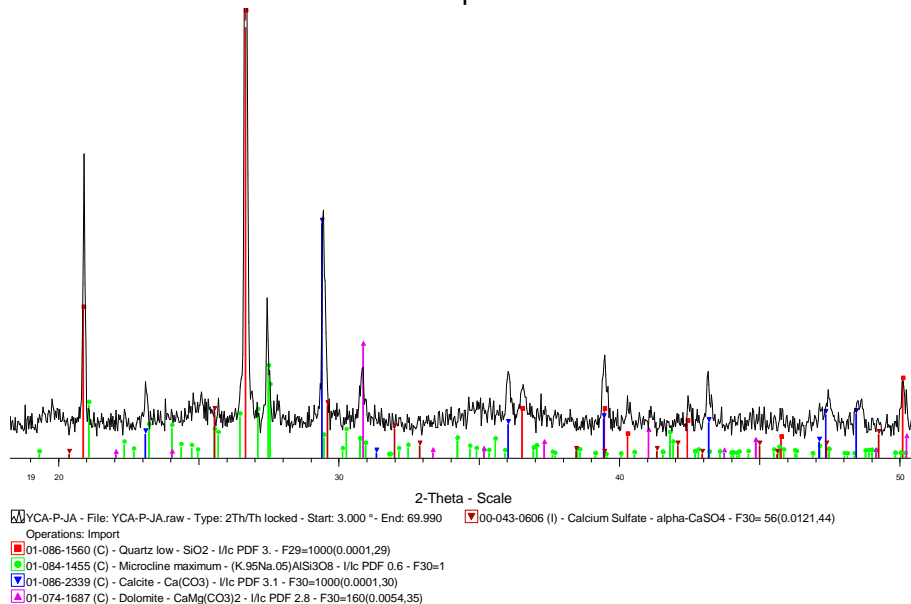
YSJ-Impurezas



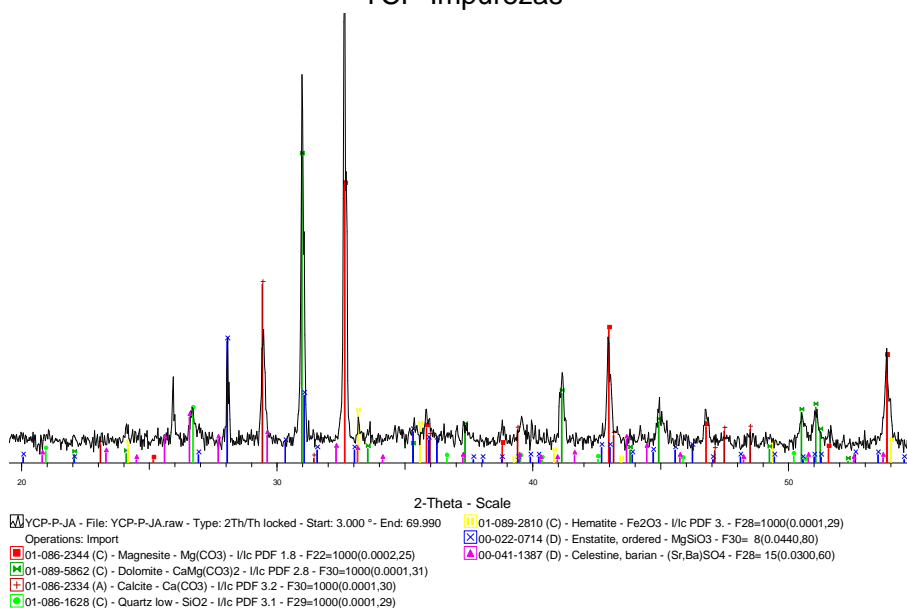
YCR-IMP



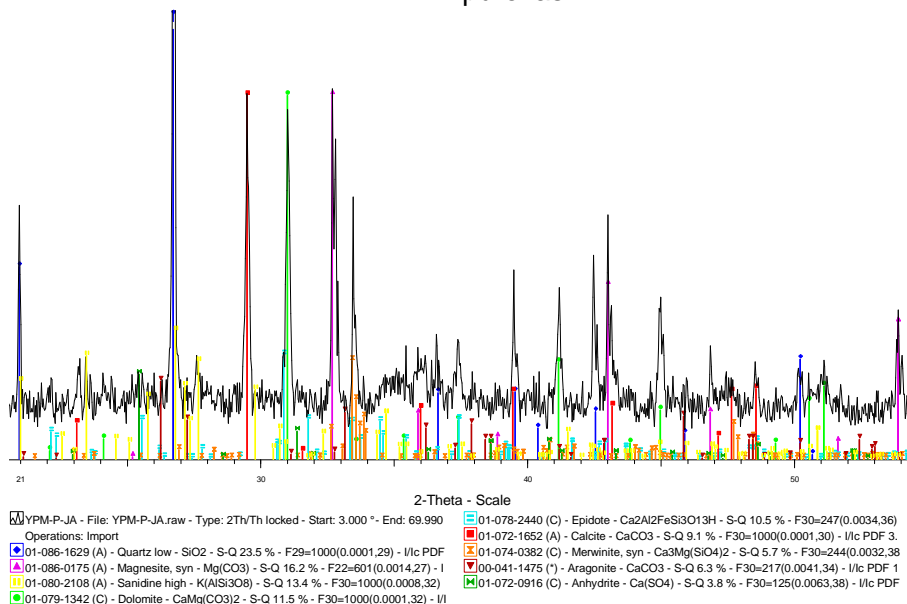
YCA-Impurezas



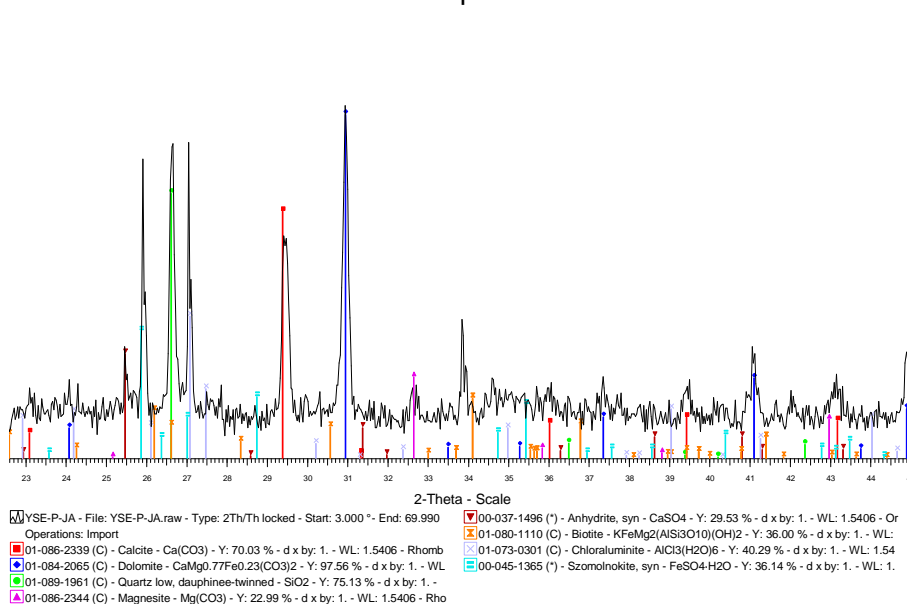
YCP-Impurezas



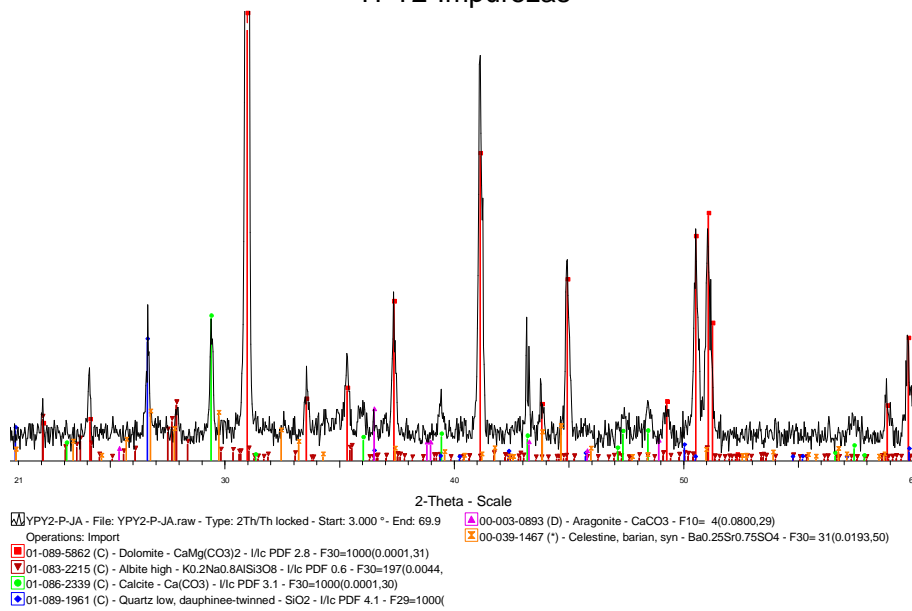
YPM-Impurezas



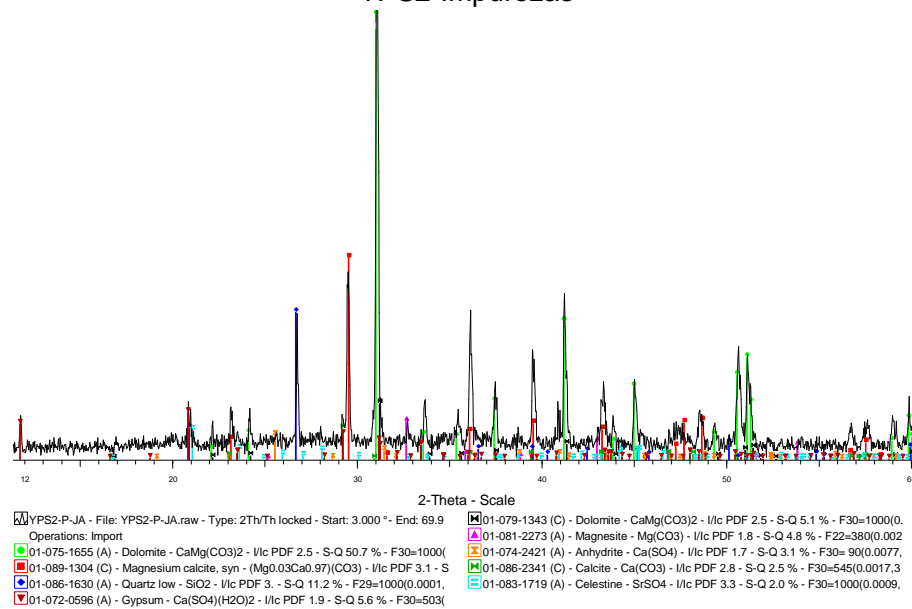
YSE-Impurezas



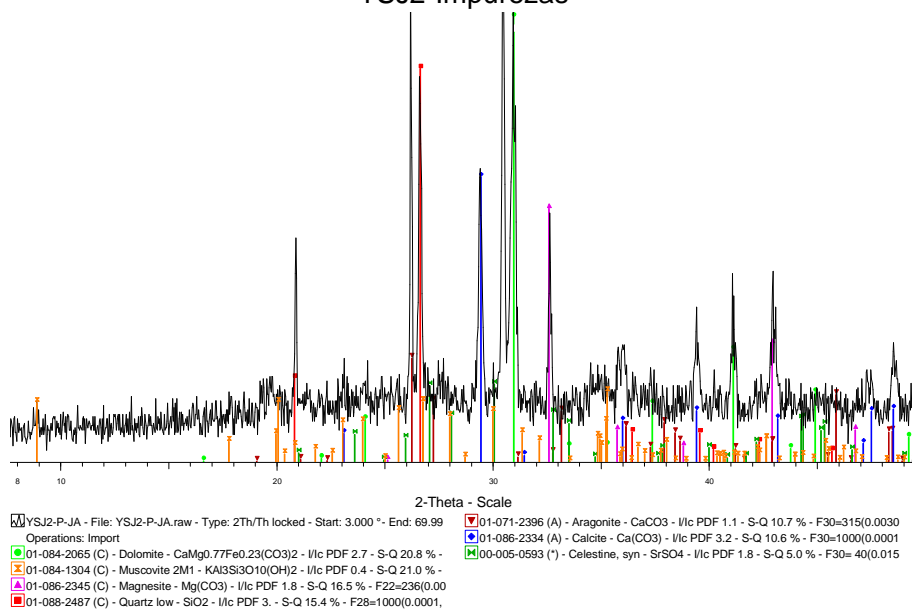
YPY2-Impurezas



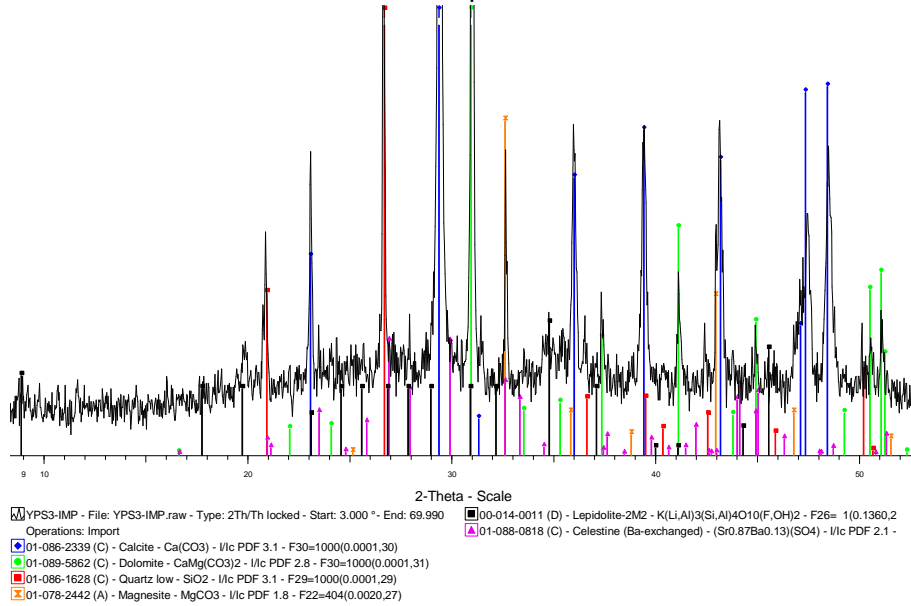
YPS2-Impurezas



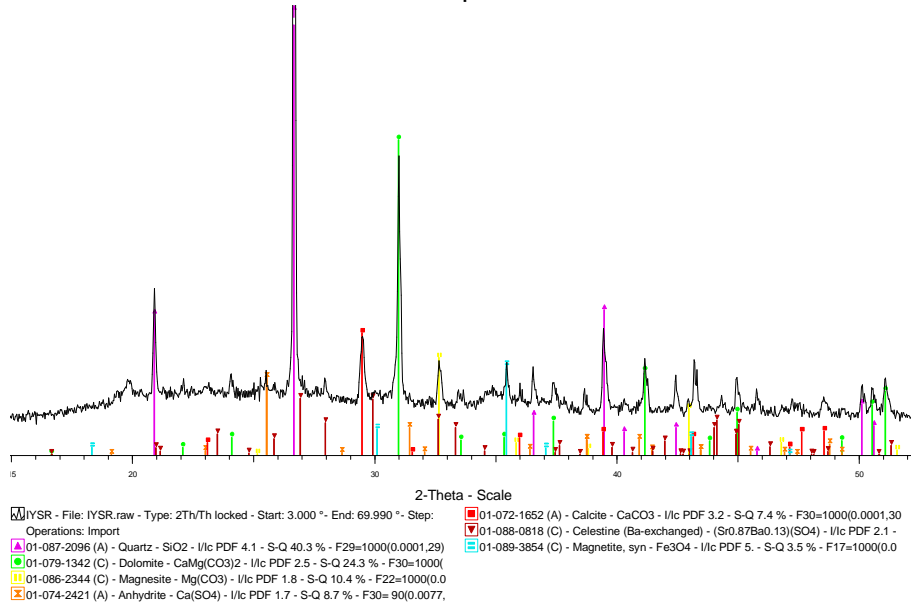
YSJ2-Impurezas



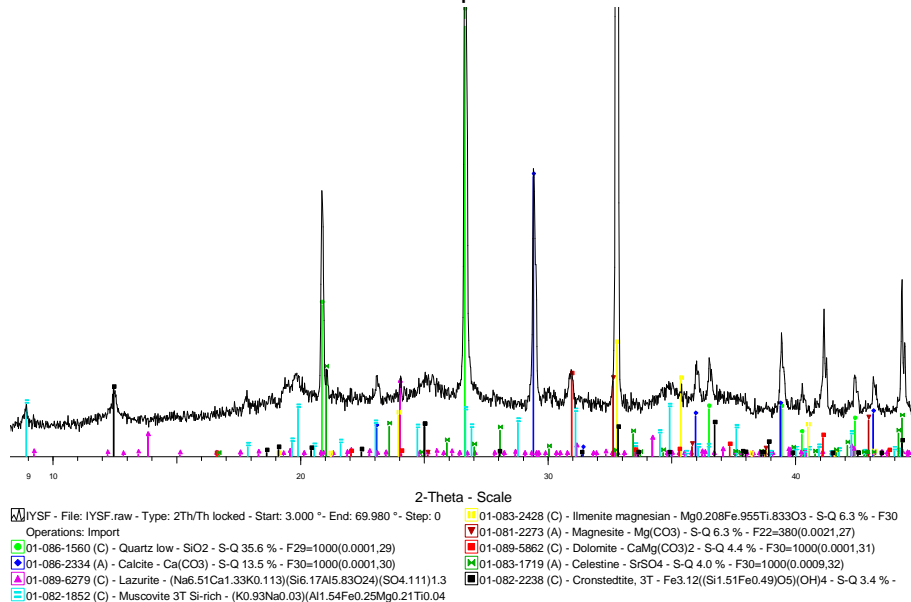
YPS3-Impurezas



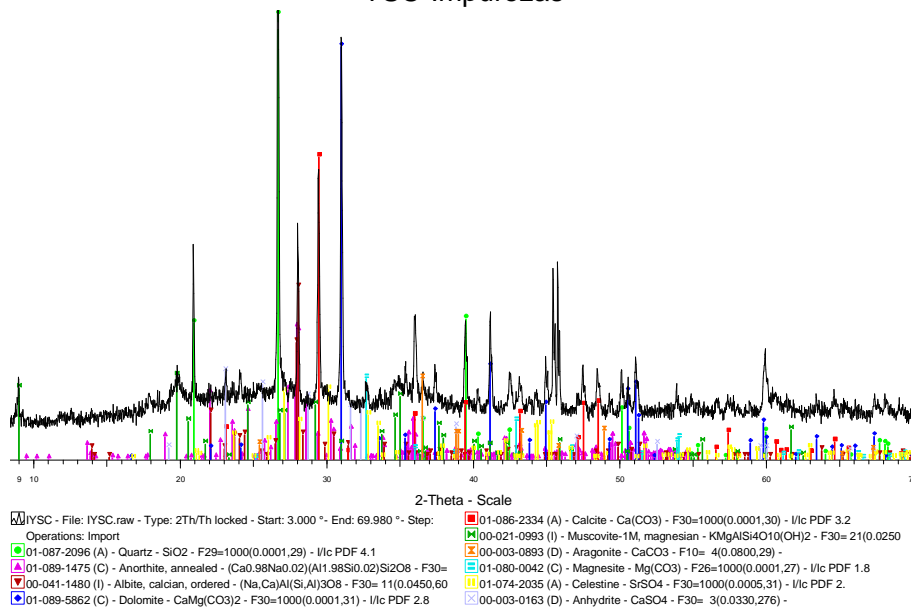
YSR-Impurezas



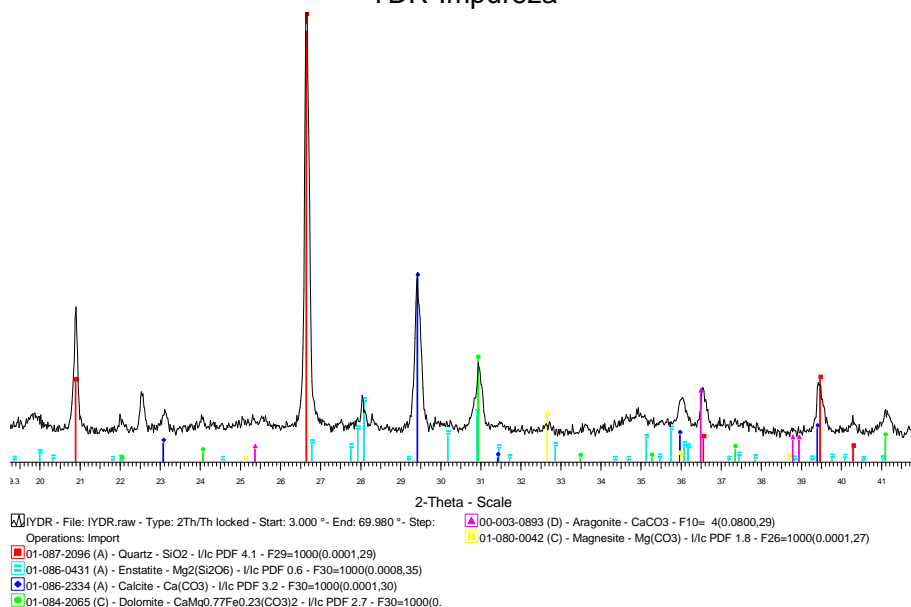
YSF-Impurezas



YSC-Impurezas



YDR-Impureza



IYSA

